



PROYECTO FIN DE CARRERA



Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el Análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

Consuelo Carmona Miura

Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas

Sevilla, Mayo 2006

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO.....	9
1.1	INTRODUCCIÓN.....	9
1.2	OBJETO DEL PROYECTO	10
1.3	SUMARIO DEL PROYECTO	11
2	ANTECEDENTES AL MANTENIMIENTO.....	13
2.1	EL MANTENIMIENTO. SITUACIÓN ACTUAL EN EL MUNDO INDUSTRIAL	13
2.2	LA FIABILIDAD OPERACIONAL.....	22
2.3	MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA MEJORA CONTINUA DEL MANTENIMIENTO.	23
3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.....	27
3.1	PROCESO INDUSTRIAL DE LA CERVEZA.....	27
3.2	PROCESO DE ENVASADO	29
4	METODOLOGÍA TPM APLICADA A UNA FÁBRICA DE CERVEZA	33
4.1	INTRODUCCIÓN.....	33
4.2	DISEÑO DE INDICADORES DE RENDIMIENTO. OPI (OPERATIONAL PERFORMANCE INDICATOR).....	43
5	SIMULACIÓN EN LÍNEAS DE ENVASADO	49
5.1	TÉCNICAS DE SIMULACIÓN EN LÍNEAS DE ENVASADO	49
5.2	MODELO REAL. LÍNEA DE ENVASADO “TREN 5”	62
5.3	MODELADO	84
5.4	RECOGIDA Y PREPARACIÓN DE DATOS.....	100
5.5	PRUEBAS Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	117
6	ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS.....	129
6.1	ESTRATEGIAS TPM	129
6.2	ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS MEDIANTE SIMULACIÓN.....	140
7	CONCLUSIONES Y EXTENSIONES	149
7.1	CONCLUSIONES.....	149
7.2	EXTENSIONES	152
8	BIBLIOGRAFÍA	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Factores que condicionan la disponibilidad de un sistema.....	15
Figura 2.	Dirección de Operaciones.....	17
Figura 3.	Dirección de operaciones, mantenimiento y fabricación.....	18
Figura 4.	Diagrama de flujo envases retornables.....	30
Figura 5.	Diagrama de flujo envases no retornables.....	31
Figura 6.	.Estructura TPM de la Fábrica.....	36
Figura 7.	Pilares del TPM.....	38
Figura 8.	Funciones de los Pilares del TPM.....	40
Figura 9.	Composición de OPI.....	43
Figura 10.	OPI NONA = Theoretical Production Time / Effective Working Time.....	47
Figura 11.	CellSim.xls.....	53
Figura 12.	Controles CellSim.....	55
Figura 13.	Simulación CellSim.....	55
Figura 14.	Elementos CellSim.....	56
Figura 15.	Arranque Cellsim.....	58
Figura 16.	Software Arena Profesional.....	60
Figura 17.	Línea de Envasado “Tren 5”.....	64
Figura 18.	Modelo “Tren 5” en Cellsim.....	89
Figura 19.	Metodología modelado.....	91
Figura 20.	Diálogo principal Transporte.....	92
Figura 21.	Carrera de simulación.....	93
Figura 22.	Línea de Envasado “Tren 5”.....	94
Figura 23.	Modelo Arena – Descripción Conveyors (transportes).....	95
Figura 24.	Modelo Arena – Descripción Machines (máquinas).....	96
Figura 25.	Modelo Arena – Primer tramo - Despaletizadora hasta Llenadora.....	97
Figura 26.	Modelo Arena – Segundo tramo – Llenadora hasta Inspectores de nivel.....	98

Figura 27. Modelo Arena – Tercer tramo – Inspectores de nivel hasta Paletizadoras.....	99
Figura 28. Disposiciones botellas en transporte.....	102
Figura 29. Capacidad transportes.....	106
Figura 30. Formato de Medición	109
Figura 31. Plantilla Resultados	110
Figura 32. Gráfico Análisis de la Medición.....	111
Figura 33. Gráfico Tabla 12. Medición “Tren 5” 14/03/06.....	114
Figura 34. Gráfico Tabla 13. Medición “Tren 5” 26/10/05.....	116
Figura 35. Des/Paletizadora – Prueba modelo.....	117
Figura 36. Máquinas – Prueba modelo.....	118
Figura 37. Transportes – Prueba modelo	118
Figura 38. Problema actual “Tren 5”	130
Figura 39. Objetivo Proyecto de Simulación.....	130
Figura 40. Fases Proyecto de Reducción de Pérdidas de velocidad	132
Figura 41. Pasos para reducir las Pérdidas de Velocidad.....	133
Figura 42. Fases Reducción Pequeñas Paradas	135
Figura 43. Recorrido Reducción Pequeñas Paradas.....	136
Figura 44. Objetivos OPI Botellas 2006.....	137
Figura 45. Pérdidas de OPI 2005 “Tren 5”.....	138
Figura 46. Desglose OPI 2005 “Tren 5”	138
Figura 47. Objetivo Pérdida Microparos y Baja Velocidad	139
Figura 48. Nº Microparos máquinas – Situación actual.....	141
Figura 49. Duración Total Microparos – Situación actual	141
Figura 50. Tiempo Total Máquina Bloqueada.....	142
Figura 51. Tiempo Total máquina bloqueada – Estrategia Mead.....	143
Figura 52. Resultado Eficiencia tras aplicación Estrategias	143

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.	Línea de Envasado “Tren 5”	62
Imagen 2.	Despaletizadora de Vidrio Nuevo	66
Imagen 3.	Variador de velocidad	67
Imagen 4.	Enjuagadora de botellas	68
Imagen 5.	Inspector de botellas vacías	69
Imagen 6.	Transportes cubiertos dirección operación de llenado	69
Imagen 7.	Entrada Llenadora – Taponadora de botellas	71
Imagen 8.	Llenadora de botellas	72
Imagen 9.	Proceso de Llenado y Taponado de las botellas.....	72
Imagen 10.	Transportadores LLenadora a Pasteurizador	73
Imagen 11.	Pasteurizador Tunel de Botellas	74
Imagen 12.	Transportador de botella Pasteurizador a Etiquetadora	74
Imagen 13.	Etiquetadoras de Botellas	75
Imagen 14.	Proceso de etiquetado de botellas.....	76
Imagen 15.	Inspector Nivel Tapón y Etiquetas	77
Imagen 16.	Transportes de entrada y salida Etiquetadoras	77
Imagen 17.	Mesa de acumulación de botellas.....	78
Imagen 18.	Empaquetadora Kisters – Sistema envolvedora.....	79
Imagen 19.	Empaquetadora Kisters – Transporte hacia Tunel de retractilado.....	79
Imagen 20.	Transportes de rodillos dirección paletizadoras de botellas	80
Imagen 21.	Paletizadoras de Cajas	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Gastos estimados de mantenimiento en España (Fuente AEM, 2000).	14
Tabla 2.	Datos Técnicos Máquinas “Tren 5”	85
Tabla 3.	Datos Técnicos Transportes “Tren 5”.....	87
Tabla 4.	Máquinas definidas en CellSim	88
Tabla 5.	Transportes definidos en CellSim	88
Tabla 6.	Ancho transportes	101
Tabla 7.	Velocidad transportes.....	105
Tabla 8.	Datos Técnicos Máquinas “Tren 5”	108
Tabla 9.	Velocidad máquinas simple.....	112
Tabla 10.	Velocidad máquina conjunto.....	112
Tabla 11.	Velocidad máquinas des/paletizadora	112
Tabla 12.	Medición “Tren 5” 14/03/06.....	113
Tabla 13.	Medición “Tren 5” 26/10/05.....	115
Tabla 14.	Objetivos de Fábrica “2006”	129
Tabla 15.	Pérdidas de OPI 2005 “Tren 5”	137
Tabla 16.	Objetivos Pérdidas OPI 2006 “Tren 5”	139
Tabla 17.	Resultados simulación Estado Inicial	144
Tabla 18.	Resultados simulación Estrategia Kisters.....	145
Tabla 19.	Resultados simulación Estrategia Llenadora	146
Tabla 20.	Resultados simulación Estrategia Mead.....	147
Tabla 21.	Resultados simulación Estrategia Mead - Llenadora	148

1 Introducción y Objeto del Proyecto

1.1 *Introducción*

La competencia de las industrias exige cada vez más organizaciones flexibles y capaces de ajustarse rápidamente a las condiciones variables del mercado.

Actualmente se experimentan transformaciones a nivel tecnológico, organizacional, económico y humano. Estos cambios, que son consecuencia de la productividad y competitividad del negocio en los mercados, traerán consigo una serie de desafíos, los cuales deberán ser afrontados de forma rápida.

Para tener éxito, las empresas deben anticiparse a los cambios, atender a las necesidades de los clientes y superar las competencias. Para lograr estos objetivos tienen que ser innovadoras (actualizarse tecnológicamente), tener una estructura óptima (competir en costes) y garantizar al máximo la calidad y la satisfacción de los clientes.

En todo proceso industrial, partiendo de materias primas o productos intermedios, se elaboran productos de valor superior que pueden ser productos acabados o intermedios a su vez. El envasado es una parte integrante del proceso de elaboración donde se realizan todas las operaciones necesarias para poner el producto en el mercado en las condiciones de calidad establecida por la empresa. Las líneas de envasado de fabricación son fundamentales para los procesos de fabricación de muchas industrias como comida y bebida, fármacos, tabaco, productos químicos, electrónicos etc.

Para obtener la máxima productividad se ha de disponer de líneas de envasado dotadas de la máxima flexibilidad. En los procesos productivos actuales, la calidad tiene prioridad sobre la cantidad. Por otro lado las cada vez mayores exigencias del mercado en lo que a presentación del producto se refiere, hacen que a las líneas de envasado, cada vez se le añadan más máquinas para poder realizar más tareas distintas. Y es esa exigencia del mercado, la que nos obliga a que todas esas tareas se realicen con el mayor índice de calidad posible.

Todo ello conlleva a unos objetivos desafiantes que requieren la máxima fiabilidad y rendimiento de las Líneas de Envasado. Por otro lado, la creciente complejidad e interconexión de los procesos de envasado conduce a un mayor desconocimiento y entendimiento del comportamiento de dichos trenes y es por eso, que se requiere en mayor medida del uso de metodologías para el análisis de rendimiento de sistemas de fabricación de alta velocidad y elevados volúmenes, donde las tasas de procesamiento tienen lugar en las centenas, incluso miles, de entidades por minuto.

1.2 Objeto del Proyecto

El objeto del proyecto es diseñar una herramienta a incorporar en metodologías de gestión de la producción y mantenimiento, que permita analizar y cuantificar los resultados de las posibles estrategias a llevar a cabo para aumentar la eficiencia de una línea de envasado de cerveza, sin que conlleve coste añadido y en un tiempo reducido. El presente objetivo se puede desglosar en tres secciones:

Diseño y Desglose de Indicador de Rendimiento Definición de OPI (Operational Performance Indicador) y desglose en los diferentes tipos de pérdidas que lo componen y para las distintas máquinas que conforman la línea, a través de técnicas TPM, analizando los focos principales donde se concentran dichas pérdidas y detectando potenciales puntos de mejora que llevan a la propuesta de Estrategias de mejora.

Diseño de herramienta Análisis y desarrollo de un modelo de simulación flexible y adaptable a cualquier línea, que permita el análisis de estrategias de TPM elaboradas para el aumento de la eficiencia de la línea. El modelo es verificado y calibrado con las medidas de campo proporcionadas por el sistema real.

Análisis y Diseño de Estrategias Análisis y cuantificación en términos de aumento de OPI de las Estrategias propuestas mediante simulación. Diseño, experimentación y comparación de Estrategias para la mejora de las variables asociadas al rendimiento.

1.3 Sumario del Proyecto

El proyecto comienza realizando una definición del mantenimiento y la situación actual del mismo en el mundo industrial, razonando sobre aspectos relativos a cifras mundiales de costes de mantenimiento, a enfoques para la mejora de la gestión, y a la necesidad de las empresas de proyectar sistemas de producción eficaces.

Posteriormente, se realiza una descripción del concepto de fiabilidad operacional y se detallan de forma breve las técnicas modernas de gestión del mantenimiento, entre ellas, la aplicada en el sistema de producción del proyecto; Metodología TPM (Total Productive Maintenance).

El siguiente capítulo define el modelo empresarial que se va a analizar, detallando el tipo y actividad de la organización, que es objeto de estudio, a través de la descripción del proceso industrial y del proceso de envasado.

A continuación, se detalla la aplicación de la Metodología TPM en el sistema de producción analizado, Fábrica de cerveza. El capítulo termina con la definición del Indicador de Rendimiento operativo OPI, propio de la metodología TPM de la Fábrica.

Posteriormente, en el Capítulo 5, se procede al análisis detallado del sistema real, Línea de Envasado "Tren 5" con la finalidad de obtener la información y datos necesarios para el desarrollo del modelo de simulación. Se realiza y se calibra el modelo.

Finalmente, el proyecto aborda el Análisis de los potenciales resultados de Estrategias propuestas para la mejora del OPI de la línea.

2 Antecedentes al Mantenimiento

2.1 *El Mantenimiento. Situación Actual en el Mundo Industrial*

2.1.1 La importancia del mantenimiento en nuestros días

La UNE-EN 13306, 2001 define el mantenimiento como una combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo, o devolverlo, a un estado en el cual puede desarrollar una función requerida.

De acuerdo con el último informe quinquenal de la Asociación Española de Mantenimiento (AEM, 2000), el coste directo de este conjunto de actividades en España fue de 55.894 millones de euros en el año 2000, lo que supone aproximadamente un 9.4% del Producto Interior Bruto del año en cuestión. El informe hace referencia al número de recursos destinados por empresas, entidades, administraciones públicas y particulares a la compra de recambios, repuestos y accesorios, al pago de los trabajos contratados a terceros – materiales y mano de obra – originados por la reparación de averías, desgastes y roturas, y a la retribución del personal de plantilla de las empresas o entidades, destinado a realizar su propio mantenimiento.

El informe no considera los costes indirectos del mantenimiento, es decir, aquellos resultados que se producen en empresas y entidades, medidos como ahorros o incrementos de costes de operación a consecuencia de la buena o mala gestión del mantenimiento. Estos costes exceden a buen seguro los datos ofrecidos con anterioridad. Sin embargo, tal y como se indica en el informe de la AEM, son datos difícilmente cuantificables, de manera que los costes directos de mantenimiento son quizás la única variable susceptible de ser cuantificada con razonable fiabilidad.

La magnitud de los valores descrito en el informe de la AEM (Tabla 1), da una clara idea de la importancia del mantenimiento en nuestra sociedad actual, de lo fundamental que puede resultar para un país como el nuestro el que exista una mayor cultura de mantenimiento a todos los niveles y en todos los ámbitos. Estos valores justifican, por tanto, la inversión a realizar, en el mundo de la ingeniería, para el desarrollo de metodologías, técnicas, modelos y herramientas en general, que permitan mejorar la eficacia y eficiencia cotidianas en la gestión del mantenimiento.

Sectores	Millones de Euros.	Distribución %
<i>Sector Primario</i> Agricultura, pesca, ganadería, forestal	1.740	3.1
<i>Sector Secundario</i> Industria, construcción	19.500	35.0
<i>Sector Terciario</i> Comercio, Servicios, Transportes, Comunicaciones	7.440	13.3
<i>Sector Público</i> Administración Central, Comunidades Autónomas, Seguridad Social, Corporaciones Locales	5.460	9.8
<i>Sector Privado</i> Particulares en viviendas, enseres y vehículos	21.660	38.8
TOTAL	55.800	100.0

Tabla 1. Gastos estimados de mantenimiento en España (Fuente AEM, 2000).

2.1.2 Enfoques para la mejora de la gestión

Existen distintos enfoques que tradicionalmente se adoptan para intentar mejorar la gestión del mantenimiento en las empresas. En muchas ocasiones, la gerencia de la empresa decide optar por políticas similares a las de las empresas del sector. Se trata de realizar "copias" de políticas de mantenimiento (esto se conoce como "Benchmarking") a intervalos regulares de tiempo. Se persigue con ello evitar quedar atrapado en determinados modos de pensamiento y actuación en la gestión. Las empresas que siguen esta práctica se sitúan a remolque de aquellas tecnológicamente más avanzadas. Esta claro que la opción por una política de este tipo genera poco ímpetu para el desarrollo de una gestión competitiva, aquella propia de una empresa que quiere ser líder en su mercado.

Otro enfoque típico que se ha seguido en determinadas empresas es ir impulsando proyectos puntuales dentro del área de mantenimiento. Conforme aparecen diferentes "siglas" que caracterizan distintas metodologías de mantenimiento, la gerencia realiza una apuesta por alguna de ellas, asumiendo que supondrá un cambio en la forma de hacer las cosas, suponiendo una repercusión favorable a corto plazo en los resultados empresariales. Este tipo de actuaciones son muy valiosas bajo determinados aspectos, pero tienen el riesgo de ocasionar el apego

de los gestores de mantenimiento a *slogans* y tendencias eventuales. El resultado puede ser la pérdida de orientación del mantenimiento respecto a los objetivos fundamentales del negocio.

Es común también creer encontrar en la consultoría externa la solución a los múltiples problemas que se derivan de la gestión y la ingeniería del mantenimiento.

Se declina en muchos casos la opción sobre la paternidad del *know-how* de la gestión, que se confía a la empresa consultora; en otros esta paternidad es compartida.

En la implementación de políticas cruciales para la empresa, y salvo que exista alguna implicación especial por parte de la consultora, es difícil conseguir mediante agentes externos el apoyo suficiente.

Pues bien, frente al enfoque anterior, la idea más novedosa consiste en abordar la problemática del mantenimiento partiendo de la premisa de que cada ambiente industrial es único y donde ningún conjunto general de procedimientos funciona en todo tipo de condiciones. Es por esto que hay que apoyarse en métodos y técnicas que ayuden a comprender cada día más el sistema, a encontrar los puntos críticos, a buscar soluciones creativas y a obtener una mejora continua dentro de una organización que debe tener capacidad para aprender.

2.1.3 proyectando sistemas de producción eficaces

Un sistema de producción es eficaz (CEI 50(191), 1990) cuando demuestra su aptitud para responder a una demanda de servicio de unas características cuantitativas dadas. La eficacia de un sistema productivo dependerá de su capacidad y de su disponibilidad.

La capacidad del sistema productivo es su aptitud, en condiciones internas dadas (por ejemplo, con cualquier combinación de equipos en diferentes estados de funcionamiento posible, averiados o no), para responder a una demanda de servicio de unas determinadas características cuantitativas. Mientras que la disponibilidad del sistema de producción será la aptitud del mismo para estar en situación de realizar una función requerida en condiciones dadas en un instante dado, o durante un intervalo de tiempo dado, suponiendo que se proporcionan los medios exteriores necesarios.



Figura 1. Factores que condicionan la disponibilidad de un sistema.

El término seguridad de funcionamiento (en inglés “dependability”) expresa un concepto general, sin carácter cuantitativo, que engloba al conjunto de propiedades utilizadas para describir la disponibilidad de un sistema de producción y los factores que la condicionan (Figura 1): fiabilidad, mantenibilidad y logística de

mantenimiento. Como se describe a continuación, el mantenimiento incide en cada uno de estos factores.

En primer lugar, la **fiabilidad** se define como la aptitud de un elemento para realizar una función requerida, en unas condiciones dadas de empleo y mantenimiento, durante un intervalo de tiempo dado. Esto significa que sin un adecuado mantenimiento, las previsiones de fiabilidad de los equipos no se cumplen. Circunstancia que muchas veces no es tenida en cuenta en la industria.

En ocasiones se adquieren equipos para trabajar en condiciones duras de operación, con la confianza de que la fiabilidad asegurada su fabricante garantizará un mejor resultado en la disponibilidad de los mismos. Curiosamente, en muchos casos, los equipos teóricamente más fiables ofrecen un resultado parecido a los equipos reemplazados, ni mucho menos cercano a lo que cabía esperar teniendo en cuenta la información ofrecida por el fabricante.

Si el mantenimiento de los equipos no era y continua sin ser el adecuado, si se continúan haciendo las cosas mal, la disponibilidad esperada estará siempre amenazada.

En segundo lugar, la **mantenibilidad** de un elemento se define como su aptitud, en condiciones dadas de utilización, para ser mantenido o restituido, a un estado en el que pueda realizar una función requerida. Siempre y cuando, de igual forma, su mantenimiento se lleve a cabo en condiciones dadas, y utilizando procedimientos y medios establecidos.

Un ejemplo simple lo tenemos en la accesibilidad y facilidad para el diagnóstico en determinados equipos industriales cuyas condiciones de limpieza y mantenimiento no son las adecuadas. En aquellos casos en que la suciedad y la acumulación de polvo o barro son importantes, los tiempos de diagnóstico se multiplican, los problemas se complican a la hora de ser resueltos, suelen además provocarse nuevos problemas intentando solventar los antiguos, etc.

Mientras que fiabilidad y mantenibilidad hacen referencia a aptitudes propias de elementos o de sistemas, inherentes a los mismos, la **logística de mantenimiento** tiene que ver con aspectos organizativos, es la aptitud de una organización de mantenimiento, en unas condiciones dadas, para proporcionar sobre demanda los medios necesarios para mantener un elemento conforme a una política de mantenimiento dada.

Las anteriores definiciones enseñan cómo el mantenimiento condiciona la eficacia de los sistemas productivos y debe considerarse por tanto como un aspecto estratégico, crucial para la obtención de una ventaja competitiva de la empresa, de los productos y servicios por ella suministrados.

Además, estas definiciones describen igualmente la importancia de la consideración del mantenimiento de un elemento, no sólo en su fase de operación, sino fundamentalmente en la fase de preparación del mismo (concepto, diseño, fabricación, montaje y puesta a punto), en la cual se condicionan su fiabilidad y mantenibilidad, y por tanto se compromete la gran mayoría del coste de su ciclo de vida.

2.1.4 Dirección de operaciones, gestión e ingeniería del mantenimiento

El siguiente apartado está centrado en describir la fase operativa de los equipos, enfatizándose en el papel de la moderna ingeniería del mantenimiento en este período del ciclo de vida de los mismos, y su relación con la dirección de operaciones.

La función producción, se conoce también como función operativa y la gestión de la producción se denomina entonces gestión o dirección de operaciones, que se orienta a la utilización más económica de unos medios por unos empleados u operarios, con la finalidad de la transformación de unos materiales en producto, o la realización de unos servicios.

La dirección de operaciones se lleva a cabo en la práctica mediante la interacción de distintos subsistemas (Figura 2.) que componen el sistema productivo. Por lo general, pueden distinguirse en la empresa los siguientes subsistemas:



Figura 2. Dirección de Operaciones

- **Subsistema de planificación.** Encargado fundamentalmente de la previsión de la demanda y del establecimiento de los planes de producción a medio y largo plazo, es decir, las cantidades de cada artículo a producir en cada período de tiempo durante un determinado horizonte de planificación. Para ello en este subsistema se contrastan las previsiones de la demanda con las limitaciones de capacidad existentes, con los niveles de inventarios disponibles y con las políticas de servicio al cliente.
- **Subsistema de programación.** Este subsistema transforma el plan de producción resultado del proceso de planificación, en un programa diario de producción, mucho más detallado en el tiempo y en las cantidades a producir. Se trata en definitiva de asignar órdenes de producción pendientes a centros de trabajo concretos, en períodos de tiempo determinados. La necesidad de programación aumenta cuando la diversidad de artículos ofrecidos por la empresa crece.
- **Subsistema de seguimiento y control.** Este subsistema tiene como función principal supervisar y asegurar que las previsiones establecidas en los programas de producción se cumplan en la ejecución real de los mismos. Se trata básicamente de hacer un seguimiento detallado de las órdenes de producción y corrección de las desviaciones que puedan surgir, y de controlar los niveles de inventario y movimientos de material a través de todo el sistema logístico de la empresa

- **Subsistema de costes.** Cuyo propósito es la determinación del coste de cada uno de los productos y servicios, valorando los distintos factores productivos que intervienen en la consecución de los mismos y asegurando que se cumplen con las previsiones, o se eliminan las desviaciones, respecto al estándar establecido.

Dentro de cada uno de estos subsistemas se utilizan distintos métodos que ayudan en los distintos procesos de toma de decisiones que tienen lugar.

Este es el caso, por ejemplo, de las técnicas de programación matemática utilizadas en el subsistema de planificación, o de los métodos y algoritmos de secuenciación de operaciones en máquinas dentro del subsistema de programación, de las técnicas ABC (Activity Base Costing - Sistemas de Costes Basados en Actividades) utilizadas en el subsistema de costes, o de las técnicas CPM (Critical Path Method - Método del Camino Crítico) dentro del subsistema de seguimiento y control.

A su vez, el desarrollo de los modernos sistemas de producción exige unos avanzados conocimientos tecnológicos en aspectos relacionados, por ejemplo, con la ingeniería de procesos o con los sistemas de comunicaciones. Es decir, las necesidades actuales de la función producción en la empresa exceden en contenido y conocimientos a aquellos que se incluyen dentro de lo que se ha denominado dirección de operaciones.

Requieren de soluciones de ingeniería específicas para la resolución de problemas técnicos ligados a los sistemas físicos (ver en Figura 3., la ingeniería de fabricación).

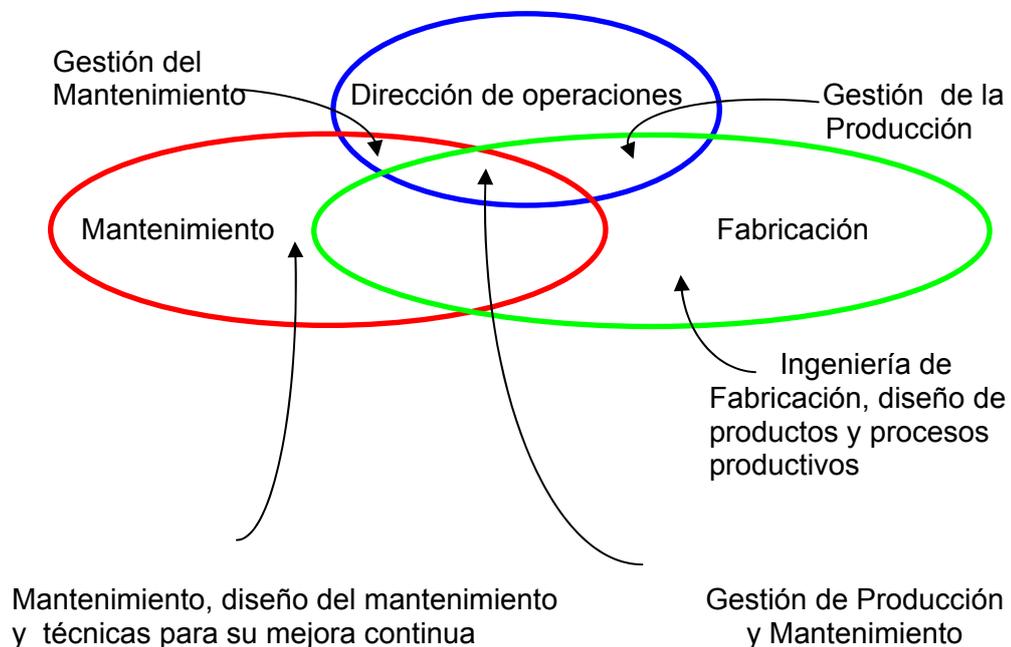


Figura 3. Dirección de operaciones, mantenimiento y fabricación

La gestión del mantenimiento, al igual que sucedía con la dirección de operaciones, se orienta a la utilización más económica de unos medios, por unos empleados u operarios, con la finalidad ahora de conservar y/o restituir los equipos de producción a unas condiciones que les permitan cumplir con una función requerida.

En la práctica, la gestión del mantenimiento se implementa de forma idéntica a la dirección de operaciones, pues la gestión del mantenimiento forma parte de la dirección de operaciones. Sin embargo, utiliza una serie de métodos y técnicas específicos para la resolución de problemas muy concretos, ligados por completo al proceso de toma de decisiones en mantenimiento. Estos métodos y técnicas intentan recoger y tratar convenientemente la complejidad del problema, ofrecer a los gestores de mantenimiento soluciones para priorizar y enfrentarse a los problemas, fórmulas para encontrar más fácilmente respuestas a los mismos. En los siguientes

párrafos hemos recogido testimonios que abundan en la necesidad de una mayor ordenación de estos métodos y técnicas específicos de mantenimiento.

Vagliasindi (1989), señala como para realizar el conjunto de actividades que componen la gestión del mantenimiento no es fácil encontrar en la empresa los procedimientos, y sistemas de ayuda a la toma de decisiones, que faciliten el proceso de mejora continua.

Este autor señala como normalmente existe una gran diversificación de los problemas a resolver por el gestor de mantenimiento, incluso en compañías que pertenezcan al mismo sector productivo, y esto hace muy difícil el diseño de una metodología operativa de aplicación general.

Hipping (2000) presenta una lista de las barreras más importantes en la implementación adecuada de sistemas para la gestión de mantenimiento. La lista es el resultado de encuestas pasadas a gestores, supervisores y operadores de mantenimiento en distintas empresas, quienes indican que la falta de conocimiento de la planta y de los procesos que en ella tienen lugar es la principal limitación para la gestión adecuada del mantenimiento.

En segundo lugar se coloca la ausencia de datos históricos del funcionamiento y mantenimiento de la planta.

En tercer lugar se sitúa la falta de apoyo de la alta dirección, y a continuación el miedo a las paradas del proceso de producción para la realización de actividades de mantenimiento.

Sus conclusiones tienen que ver con la necesidad de que la alta dirección de la empresa estudie mejor cómo apoyar al proceso de toma de decisiones en mantenimiento, de que se cuantifiquen mejor los objetivos de cada política y los resultados de las mismas, de que se formule de forma más clara la metodología de gestión.

Un último postulado del estudio aconseja que estas iniciativas se realicen por separado, llamando la atención sobre las mismas, y no conjuntamente a otras medidas de mejora, que pudieran restarles protagonismo.

Jonsson (2000) comenta igualmente la ausencia clara de configuraciones adecuadas para la gestión del mantenimiento en la industria, configuraciones que ayuden a entender las verdaderas dimensiones de la función mantenimiento. Señala cómo investigaciones sucesivas (Wireman, 1990; Jonsson, 2000) muestran como el mantenimiento se encuentra aun en una fase de subdesarrollado en un tanto por ciento importante de compañías manufactureras.

Para dar respuesta a todo lo anterior, podemos decir que en los últimos años se produce un gran avance en una serie de tecnologías específicas de mantenimiento en distintos apartados (en aspectos relacionados, por ejemplo, con los sistemas de monitorización y conocimiento de la condición, con los sistemas de protección y control, con técnicas de ayuda al diagnóstico, con técnicas de automantenimiento, etc.) separados de aquellos que tradicionalmente se incluyen dentro de la dirección de operaciones y de la ingeniería de fabricación, y que han cobrado una personalidad propia. El resultado de lo anterior es lo que hoy conocemos como ingeniería del mantenimiento.

Si bien la ingeniería y la gestión del mantenimiento tienen objetivos o metas similares (por ejemplo y durante un cierto período del ciclo de vida de una empresa, éstos podrían ser: la consecución de una disponibilidad dada de los equipos a un mínimo coste), es importante constatar que el entorno en el que ambas operan difiere notablemente.

De manera más específica, la *ingeniería del mantenimiento* es una función analítica, cuyo desarrollo debe de ser por tanto metódico y dotado de una alta premeditación.

Por el contrario, la *gestión del mantenimiento* se realiza normalmente en adversas circunstancias y con alto nivel de estrés, teniendo como objetivo prioritario la inmediata restitución de los equipos a sus condiciones de operación, utilizando para ello los recursos disponibles.

Para finalizar esta sección, según el informe AMPC 706-132 (1075), la ingeniería del mantenimiento debe contribuir al logro de los siguientes objetivos:

- mejorar las operaciones de mantenimiento,
- reducir la cantidad y frecuencia de mantenimiento,
- reducir los efectos de la complejidad de los sistemas,
- reducir el nivel de especialización técnica en mantenimiento requerido al personal,
- reducir la cantidad de aprovisionamientos,
- optimización de la frecuencia y cantidad de mantenimiento preventivo a realizar,
- mejorar y asegurar la máxima utilización de las instalaciones de mantenimiento,
- mejorar la organización de mantenimiento.

2.1.5 El ingeniero de mantenimiento

Desde hace más de una década, el ingeniero de mantenimiento se ha convertido en una figura fundamental del mantenimiento moderno. Según Furlanetto (1991) las funciones del ingeniero de mantenimiento actual pueden sintetizarse en los dos siguientes apartados:

- proyectar el mantenimiento.
- promover la mejora continua y la formación en mantenimiento.

El significado del primer apartado, proyectar el mantenimiento, está ligado sobre todo a escoger el enfoque más conveniente para el mantenimiento de una determinada instalación, en relación a los objetivos fijados de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, costes, etc. (objetivos estratégicos de la organización).

Significa, por tanto, determinar para cada elemento de las instalaciones, y en función de las consecuencias que origina su fallo sobre el sistema total, cuáles deben ser: su tasa admisible de fallo, su mantenibilidad requerida, y proyectar los instrumentos y recursos necesarios para lograr lo anterior.

El proyecto de una organización de mantenimiento coherente con la política de la organización, y con los instrumentos operativos a su disposición, llevará al ingeniero de mantenimiento al diseño, entre otras cosas, de:

- Los planes básicos de mantenimiento aplicando metodologías adecuadas.
- Los estándares y procedimientos para las intervenciones de mantenimiento.
- El sistema de información de mantenimiento.
- Los criterios para la gestión de los repuestos y materiales de mantenimiento, etc.

La ingeniería de mantenimiento, además de optimizar las decisiones actuales, debe ocuparse igualmente de mejorar el mantenimiento futuro de las instalaciones.

Son éstas, tareas más costosas de sistematizar, y que requieren del desarrollo de una alta sensibilidad en la organización a la recepción de todas aquellas ideas innovadoras que puedan aparecer y que contribuyan a la mejora de la eficacia y eficiencia del mantenimiento. El ingeniero de mantenimiento debe ser, en este sentido, punto de referencia de la organización, principal promotor de la formación continua y de la sensibilización sobre la problemática del mantenimiento.

2.2 La Fiabilidad Operacional.

Es la capacidad de un sistema, representado por sus procesos, tecnología y recursos humanos, para cumplir sus funciones, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.

La mejora de la fiabilidad operacional depende de la interacción entre los equipos, los procesos, los humanos y el ambiente operacional. No obstante la incertidumbre está presente y los resultados siempre están sujetos a condiciones de riesgo.

La fiabilidad operacional está conformada por:

- **Fiabilidad Humana:** Aspectos relacionados con la formación, conocimientos de las personas y grado de integración en la actividad.
- **Fiabilidad del Proceso:** Aspectos relativos al correcto funcionamiento del proceso, dentro de sus condiciones de diseño y a la comprensión de los distintos subprocesos y actividades que lo componen.
- **Fiabilidad de Equipos:** Incorporación de la fiabilidad de los equipos desde su fase de diseño y extensión de los tiempos promedios de operación.
- **Mantenibilidad de Equipos:** Establecer correctas y eficaces técnicas de mantenimiento, fomentar multioficios y habilidades dentro de la organización y conseguir reducir el tiempo promedio de reparación de los equipos.

Para optimizar la fiabilidad operacional existen diversas metodologías de mantenimiento, ninguna de ellas asegura por si misma la optimización, pero contribuye a ésta si se emplea en los contextos adecuados.

2.3 Métodos y técnicas para la mejora continua del mantenimiento.

2.3.1 Métodos básicos para el análisis de fallos, de fiabilidad, y de riesgo en la operación de un sistema.

El estudio del proceso de aparición de fallos en un sistema, la realización de análisis de su fiabilidad, o de estudios del comportamiento del mismo ante situaciones extremas o fuera de sus condiciones de diseño, proporciona un profundo conocimiento del sistema a quienes lo realizan. En la práctica, este tipo de estudios se lleva a cabo de forma iterativa, ya que con el avance del estudio se adquiere una mayor comprensión del sistema, permitiendo una mejor valoración sucesiva.

En la elección del método adecuado es muy importante la información de que se disponga en cuanto a datos técnicos y aspectos cualitativos, así como los objetos en lo referente al alcance, grado de detalle y horizonte temporal de estudio. Siempre dentro de la capacidad marcada por los medios disponibles para su realización.

Estos métodos o procedimientos pueden clasificarse atendiendo a diversos razonamientos. Hauptmans (1986), los cataloga atendiendo a los siguientes conceptos:

- Según el tipo de razonamiento: Métodos inductivos y deductivos.
- Según su alcance : Métodos cualitativos y cuantitativos.
- Según el objeto: Métodos para identificar posibles potenciales de riesgo.

Normalmente cada método no se enmarca en un grupo determinado sino que se compone de características pertenecientes a varios grupos.

Los métodos inductivos comienzan el estudio a partir de hechos particulares para llegar a conclusiones de tipo general. Estos hechos individuales son generalmente fallos ocurridos a componentes del sistema, y las conclusiones serán los efectos tanto particulares sobre los componentes, como globales sobre el sistema. Los métodos más destacados son:

- FMEA, Análisis de los Modos de Fallo y sus Efectos.
- FMECA, Análisis de los Modos de Fallo sus efectos y su criticidad.
- MA, Análisis de Harkov
- ET, Secuencias de Sucesos.

Los métodos deductivos comienzan con la definición de un hecho de interés a nivel de sistema, procediendo al estudio de las causas del mismo hasta el grado de detalle predefinido para el análisis. El método deductivo más extendido es el *Análisis del Árbol de Fallo*.

2.3.2 RCM, Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad.

El mantenimiento centrado en fiabilidad se define como una metodología en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la fiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, teniendo presente los posibles efectos que originarán los modos de fallos de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

Las características generales de la metodología pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Es una herramienta que permite ajustar las estrategias de mantenimiento al entorno de operación del activo.
- Es un procedimiento sistemático que genera planes óptimos de mantenimiento.
- Es una filosofía nueva que implica, normalmente, un cambio cultural en la propia organización.
- Genera resultados más satisfactorios en equipos que presenten una gran diversidad de modos de fallos.
- Es una metodología que necesita un medio o largo plazo de tiempo para su consecución.

La metodología RCM propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes 7 preguntas claves:

1. ¿Cuál es la función del activo?
2. ¿De qué formas puede fallar?
3. ¿Qué origina el fallo?
4. ¿Qué pasa cuando falla?
5. ¿Importa si el activo falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir el fallo?
7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir el fallo?

2.3.3 TPM, Mantenimiento Productivo Total.

La evolución del mantenimiento en Japón ha dado origen a una de las metodologías que, en su forma original o reelaborada según los casos, está teniendo una gran difusión en todo el mundo y especialmente en Europa, encontrándose muy ligada a las nuevas técnicas de gestión de la producción, también de origen japonés. Se trata del TPM (Total Productive Maintenance).

En el año 1951 se comienza a establecer la función de Mantenimiento Preventivo en las empresas (primera aplicación, en la empresa Toa Nenryo Kogyo). A partir del año 1954, comienzan a incorporarse conceptos de lo que constituye el *Mantenimiento Productivo*, no incluyendo aun el concepto de *Mejora de la Mantenibilidad*. De esta forma, se estaba aplicando la base del Mantenimiento Productivo al estilo americano que en 1958 se promovía en Japón.

Durante la década de los años 60, se va introduciendo la aplicación del mantenimiento Productivo. En este período toma cuerpo de doctrina la ingeniería de la fiabilidad (1962) y la ingeniería de la mantenibilidad, ambos conceptos, elementos básicos del mantenimiento productivo, como se ha comentado más arriba. En 1962 la Japan Management Association envió una misión a U.S.A. para estudiar el mantenimiento en la industria de ese país. Esta misión tuvo especial importancia, ya que el resultado de la misma se liga al origen de lo que más tarde se conoció como TPM.

A los conceptos del mantenimiento productivo americano (prevención, fiabilidad, mejora de la mantenibilidad, todo desde la óptica de la eficiencia económica) se añaden los de predicción e involucración del personal de producción en las tareas de mantenimiento básico (primera línea) y mejora de las instalaciones. El TPM no sólo tiene por meta el conseguir cero averías, sino también cero defectos y cero accidentes en la operación de los equipos. EL TPM fue definido en 1971 por el Instituto Japonés de Ingenieros de Plantas (precursor del Instituto Japonés para el Mantenimiento de Plantas).

Durante la década de los 80 y hasta la actualidad, se ha trabajado en aplicación de técnicas para reemplazar el mantenimiento preventivo por el predictivo o basado en la condición de los equipos (que es también parte de los elementos que utiliza el RCM), todo ello dentro de la metodología TPM. Así mismo, la evolución de las técnicas de comunicación, participación y motivación del personal, se han incorporado a la aplicación del TPM.

Finalmente, el “Japan Institute of Plan Maintenance”, JIPM introdujo en 1997 una definición de los componentes estratégicos del TPM como sigue (JIPM, 1997):

1. Crear una organización corporativa que maximice la eficacia de los sistemas de producción.
2. Gestionar la Planta con una organización que evite todo tipo de pérdidas (asegurando los cero accidentes, defectos y averías) en la vida entera del sistema de producción.
3. Involucrar a todos los departamentos en la implantación del TPM, incluyendo desarrollo, ventas y administración.
4. Involucrar a todos, desde la alta dirección a los operarios de la planta, en un mismo proyecto.
5. Orientar decididamente las acciones hacia las “cero-pérdidas” apoyándose en las actividades de los pequeños grupos.

3 Descripción del Sistema de Producción

3.1 Proceso Industrial de la Cerveza

En todo proceso industrial, partiendo de materias primas o productos intermedios, se elaboran productos de valor superior que pueden ser productos acabados o intermedios a su vez. En ocasiones, como consecuencia del proceso productivo, además del producto final, se originan subproductos y/o residuos.

En los procesos industriales están presentes un conjunto de máquinas y equipos que realizan las funciones necesarias para obtener el producto final. Este conjunto de máquinas, dispuestas con un orden concreto, constituye la instalación básica de producción y se le denomina *línea de producción*.

Las líneas de producción para realizar su función, necesitan un aporte de energía (fundamentalmente eléctrica) y de unos suministros auxiliares (agua, envases, lubricantes, etc.) que deben estar disponibles en la planta.

Para obtener la máxima productividad se ha de disponer de sistemas de fabricación dotados de la máxima flexibilidad. En los procesos productivos actuales, la calidad tiene prioridad sobre la cantidad.

Una Planta Envasadora integra instalaciones básicas o específicas, encargadas de realizar la función de producción, e instalaciones anexas o complementarias, tales como instalaciones de tratamientos previos del producto a envasar, almacenes, zona de carga y descarga, etc. Así mismo, requieren de instalaciones auxiliares, generalmente compartidas con otras áreas de actividad de la empresa, de las que obtener energías y consumibles.

Dependiendo de la envergadura e importancia de la Planta, del nivel tecnológico de los equipos instalados y del grado de automatización de sus líneas, pueden estar presentes con mayor o menor grado de integración, sistemas informáticos centralizados para control, supervisión y gestión del sistema productivo.

3.1.1 Generalidades

La **cerveza** es la bebida resultante de la fermentación alcohólica, mediante levaduras seleccionadas, de un mosto procedente de malta de cebada, sólo o mezclado con otros productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática, adicionado con lúpulo y/o sus derivados y sometido a un proceso de cocción.

Las materias primas utilizadas en el proceso de elaboración de la cerveza básicamente son: malta, lúpulo, levadura de cerveza y agua.

Se denomina *malta* a los granos de cebada sometidos a la germinación y ulterior desecación y tostados en condiciones tecnológicamente adecuadas. El *lúpulo* es una planta trepadora de cuyas flores se extrae la lupulina, que le da a la cerveza su aroma y amargor característicos.

El proceso de elaboración de la cerveza es muy complejo y delicado. Dependiendo de la variedad de cerveza que se quiera elaborar, los pasos para su fabricación pueden variar un poco. A modo de ejemplo, el proceso de fabricación industrial de

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

una cerveza, lo podemos dividir en las siguientes grandes etapas: Malteado, Cocción, Fermentación y Maduración, Clarificación y Envasado.

La cerveza puede ser envasada en botellas, latas o barril.

El *barril* de gran volumen lleva acoplado un sistema que posibilita que la cerveza llegue en óptimas condiciones al cliente. Otros envases son las *botellas de vidrio* (retornables o no) y los *recipientes metálicos* (latas).

La cerveza envasada se pasteriza para lograr una buena estabilización microbiológica. Básicamente son dos los sistemas que se aplican para la pasterización de la cerveza:

- Pasterización antes del envasado en aparatos de placas o tubulares (cerveza en barril).
- Pasterización después del envasado, una vez que el líquido está en la botella (cerveza en botellas o latas).

3.2 Proceso de Envasado

El envasado es una parte integrante del proceso de elaboración que tiene, entre otros, dos grandes objetivos:

- Presentar el producto.
- Proteger adecuadamente al producto para que se conserve durante un período determinado.

El envase cumple, entre otros, los siguientes requisitos fundamentales:

- Proporciona seguridad al producto contenido en él, desde la línea de envasado hasta el momento de su consumo.
- Protege el producto tanto de daños mecánicos durante su manipulación como del deterioro en la distribución y almacenamiento doméstico.
- Identifica su contenido cumpliendo con los requisitos legales de etiquetado y comunica las cualidades y beneficios que se obtienen de su consumo además de transmitir la imagen global de su fabricante.
- Proporciona al consumidor un manejo fácil.

En el proceso de envasado se realizan todas las operaciones necesarias para poner el producto (cerveza) en el mercado en las condiciones de calidad establecida por la empresa.

Una línea de envasado es un conjunto de máquinas, equipos e instrumentos necesarios para realizar las operaciones propias del proceso. El éxito de una línea de envasado depende de la coordinación de los diferentes elementos que confluyen el proceso:

- Las instalaciones (máquinas y equipos) y su distribución en planta.
- El producto a envasar (cerveza).
- Los materiales (envases, elementos de cierre, etiquetas, cajas, etc.)
- Equipo humano.

Las instalaciones que integran una línea de envasado, entre otros, dependen:

- de la gama de productos,
- de la política y estrategia comercial de la empresa,
- del tipo de envase,
- del volumen y la estrategia de producción,
- del nivel de automatización alcanzado,

- de políticas de calidad establecidas, etc.

En el proceso de envasado de cerveza suelen realizar las operaciones que muestran los diagramas de flujo de las figuras 4 y 5, según que los envases sean retornables o no retornables.

➤ Diagrama de flujo envases retornables:

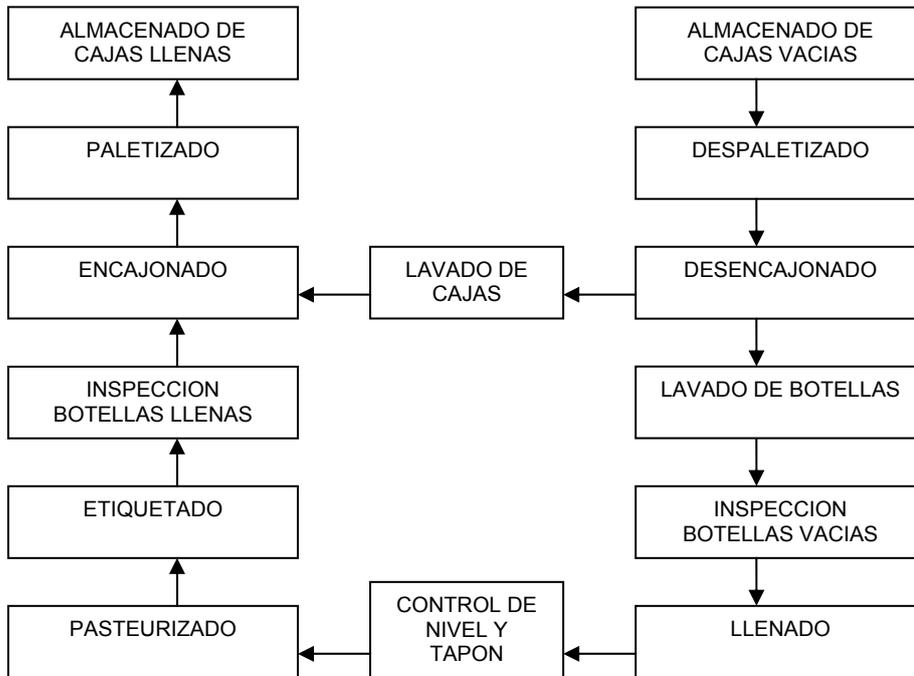


Figura 4. Diagrama de flujo envases retornables

➤ Diagrama de flujo envases no retornables:

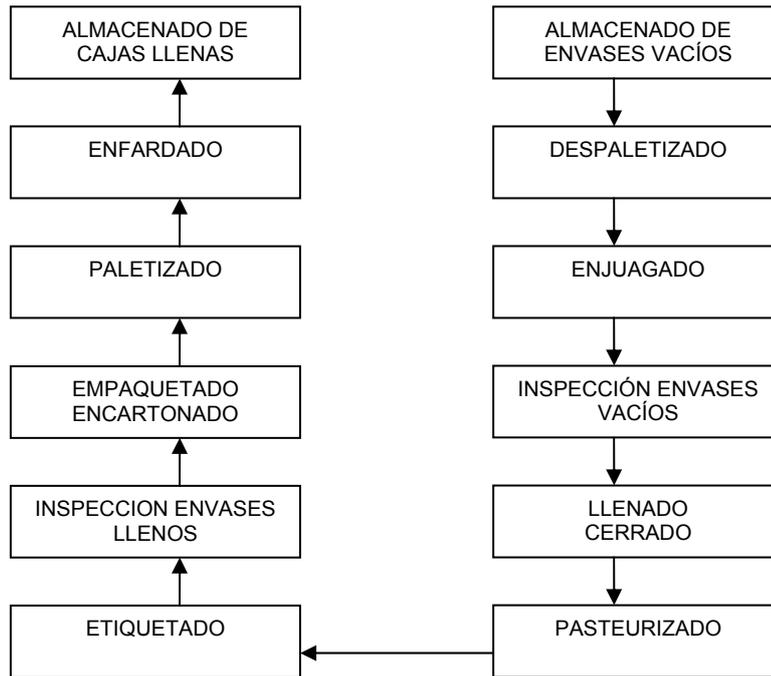


Figura 5. Diagrama de flujo envases no retornables

Se completan y coordinan las operaciones básicas mostradas en los diagramas anteriores mediante la integración de operaciones de:

- Transporte:
 - de envases
 - de cajas
 - de palets
- Enfardado de cajas paletizadas
- Inspección de envases vacíos
- Control de calidad
- Codificación y/o marcado
- Limpieza y desinfección

La cada vez mayor exigencia y especialización del mercado en la presentación del producto, hace que las líneas de envasado sean cada día más complejas y realicen más tareas diferentes. Y es esa exigencia del mercado, la que obliga a que todas esas tareas se realicen con el mayor rigor y grado de calidad posible.

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

Además de elegir y disponer los elementos de la línea de envasado para que se alcancen los rendimientos adecuados, es necesario conseguir, con la ayuda del equipo humano, alcanzar la mayor productividad posible y mantener la calidad objetivo en todas las fases del proceso. No basta, por tanto, con disponer de la mejor cerveza y de las mejores líneas de envasado, también es necesario disponer del mejor equipo humano.

Debido a la gran complejidad y grado de automatización alcanzado en la instalación del proceso de envasado es necesario observar los siguientes aspectos:

- Normas, Reglamentos y Especificaciones relacionados con el proceso de envasado:
 - Seguridad del personal
 - Seguridad de máquinas y equipos
 - Calidad del producto y del proceso
 - Autocontrol
 - Medio ambiente
- Optimización de costes
- Mantenimiento

En las operaciones de envasado las tareas a realizar por el equipo humano básicamente consisten en:

- Puesta en marcha de la máquina conforme al procedimiento establecido.
- Vigilancia y seguimiento del funcionamiento de la máquina.
 - Funcionamiento normal
 - Señales de alarmas acústicas y/o luminosas o mensajes informativos en el tablero de mando o consolas
- Resolver las incidencias o anomalías presentadas y restablecer el funcionamiento.
- Mantener la velocidad óptima de la máquina para no perjudicar el nivel de producción final de la línea.
- En los paros por finalización de turno, por cambios en la producción, etc. operar conforme a los procedimientos establecidos, así como utilizar en todo momento los equipos de protección individual adecuados para realizar las tareas del puesto de trabajo.
- Realizar todas las tareas del puesto de trabajo con el máximo nivel de calidad posible.

4 Metodología TPM aplicada a una Fábrica de cerveza

4.1 Introducción

4.1.1 Escenario actual

La competencia de las empresas exige cada vez más organizaciones flexibles y capaces de ajustarse rápidamente a las condiciones cambiantes del mercado.

Los objetivos para tener éxito son:

- Anticiparse a los cambios, ya que permite una mayor competitividad.
- Atender a las necesidades de los clientes
- Superar las competencias

Para lograr estos objetivos la empresa tiene que ser innovadora (actualizarse tecnológicamente); compacta, enjuta (competir en precio); y garantizar al máximo la calidad y la satisfacción de los clientes.

En casi todos los sectores de la economía el éxito de una minoría de empresas contradice las excusas de la mayoría; difieren del resto en que tienen agentes de cambio, son capaces de mejorar los estándares establecidos y definen y superan límites. Las empresas de éxito saben como realizar mejor su trabajo. Para ello utilizan una metodología en base al análisis de los principales activos de la empresa: hombre, medios de producción y productos y servicios.

Ante la oportunidad de mejora de muchas empresas nace la implantación de TPM como medio a la consecución de los objetivos ante un “juego” más duro cada día y la necesidad de “ganar y mejorar” continuamente involucrando a todos los empleados.

Algunas empresas, entre muchas que están trabajando con TPM en España, son: Heineken, Pirelli, Tetrapack, Chupachups, Valeo, Plastic Omnium, Opel, Ford, Citroen, Procter & Gamble, García Carrión, Unilever, Ahlstrom, Benimar, Frudesa, Nexans, Sogefi y muchas más.

4.1.2 Filosofía TPM

TPM es una filosofía de mejora continua sistemática (que abarca a toda la compañía) focalizada en la eliminación sistemática de todas las formas de ineficiencia, pérdida y derroche.

TPM o WCOM (World Class Operations Management) es un sistema global para conseguir resultados excelentes. Es un sistema de gestión completo para responder a las necesidades del cliente que acopla innovación, proporciona resultados excelentes; y adoptado por empresas destacadas.

Las características primordiales de TPM son:

- Una organización ágil que dé apoyo a innovación

- Siempre orientada a la prestación
- Un sistema guiado con firmeza
- Elevada visibilidad de planes y progresos
- Grupo de trabajo industrializado
- Sistema estable para conservar las ganancias

4.1.3 Puntos clave del TPM

1. Establecer una cultura colectiva relacionada a la reducción y eliminación de las pérdidas en el proceso productivo.

Las 16 pérdidas principales en una fábrica son:

- **MAQUINA:** Son pérdidas asociadas a las operaciones realizada en la máquina, entre ellas se encuentran.
 - Paradas planificada
 - Cambios y Ajustes
 - Arranques y parada
 - Averías
 - Pequeñas paradas (microparos)
 - Pérdidas de velocidad
 - Defectos y Retrabajo
- **MANO DE OBRA:** Son pérdidas asociadas a las personas.
 - Pérdidas de Gestión
 - Movimentación y desplazamiento
 - Organización Líneas
 - Pérdidas en Logística
 - Medición Líneas
- **MATERIAL:** Son pérdidas asociadas a las herramientas, útiles y materiales necesarios.
 - Útiles, herramientas
 - Mermas de material

- Mermas de producto
- ENERGÍA
 - Pérdidas de Energía
- 2. Activar el sistema para la prevención de pérdidas, en lugar de corregir problemas para obtener cero accidentes, cero defectos y cero averías.
- 3. Involucrar todos los esfuerzos de trabajo de la empresa.
- 4. Búsqueda de la eliminación de los problemas a través de las actividades de grupos de trabajo (trabajo en equipo) integrados al sistema productivo.
- 5. Aprendizaje continuo para estar presente en todas las oportunidades de mejora (producción, calidad, mantenimiento, ventas y oficinas).

4.1.4 La implantación de un programa TPM

TPM se introduce en una organización durante un período de años (normalmente de 3 a 4 años). Es importante tener en cuenta que el plazo de tiempo puede variar mucho dependiendo de factores como las relaciones laborales, el poder económico de la empresa y los niveles de compromiso de dirección.

El TPM se implanta normalmente en cuatro fases (preparación, introducción, implantación y consolidación), que pueden descomponerse en doce pasos, que se describen a continuación.

- **FASE 1. PREPARACIÓN**

1. Anuncio formal de la decisión de introducir el TPM
2. Educación sobre TPM introductoria y campaña de publicidad
 - Establecer la organización de TPM y el área piloto
 - Establecer los objetivos y políticas básicas del TPM
3. Diseñar un plan maestro para implantar el TPM

- **FASE 2. INTRODUCCIÓN**

- Introducción al lanzamiento del proyecto empresarial TPM

- **FASE 3. IMPLANTACIÓN**

- Construir una organización corporativa para maximizar la eficacia de la producción
- Realizar actividades centradas en la mejora. Actividades de equipos de proyectos y de pequeños grupos en puntos de trabajo.
- Establecer y desplegar el programa de mantenimiento autónomo.

- Implantar un programa de mantenimiento planificado.
- Formación sobre capacidades para mantenimiento y operación correctos. Formación de líderes de grupo que después formen a los miembros de sus grupos.
 - Crear un sistema para la gestión temprana de nuevos equipos y productos
 - Crear un sistema de mantenimiento de calidad
 - Crear un sistema administrativo y de apoyo eficaz: TPM en departamentos indirectos
 - Desarrollar un sistema para gestionar la salud, la seguridad y el entorno
- **FASE 4. CONSOLIDACIÓN**
 - Consolidar la implantación de TPM y mejorar las metas y objetivos legales

4.1.5 Estructura TPM de la fábrica

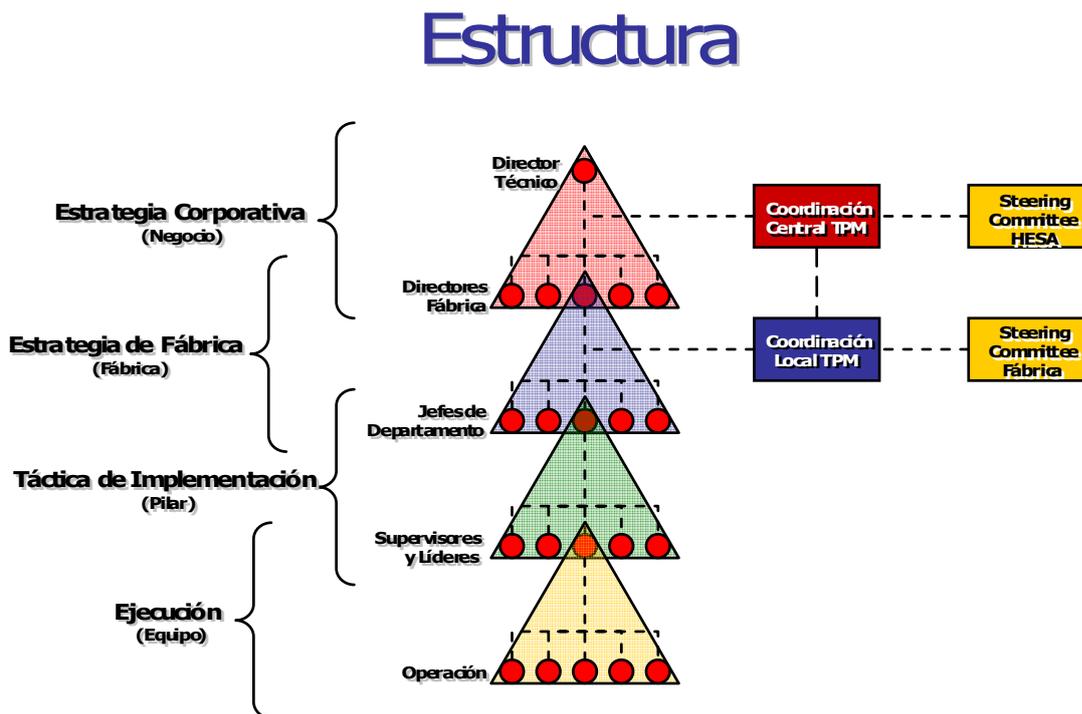


Figura 6. Estructura TPM de la Fábrica

- **Rol Comité Directivo**
- Conocer la metodología, para definir las necesidades de aplicación

- Soportar a la coordinación TPM; identificar nuevas oportunidades; y auditar el sistema
- Definir y controlar los KPIs (Objetivos, indicadores) de toda la fábrica y pilares
- Definir la misión y objetivos para los equipos
- Estandarizar el sistema

➤ **KPIs (Objetivos)**

En TPM, los objetivos de la fábrica son definidos en seis “dimensiones” (Productividad, Calidad, Costes, Entrega, Seguridad/Ambiente y Moral); y es muy importante definir objetivos únicos y claros para toda la fábrica, conocidos por todos.

➤ **Pilares**

El TPM está organizado a través de grupos inter departamentales que se llaman Pilares. Son en concreto ocho Pilares, ocho grupos de gestión (procesos) que sostienen el TPM; con funciones como “definir como implantar la metodología en la fábrica, gestionar y dar soporte a los equipos”. Dichos Pilares son:

- Gestión Autónoma
- Mantenimiento Planificado
- Mejora Específica
- Educación y Formación
- Calidad Progresiva
- Seguridad y Medio Ambiente
- Gestión anticipada de procesos
- TPM en la Oficina

Pilares del TPM

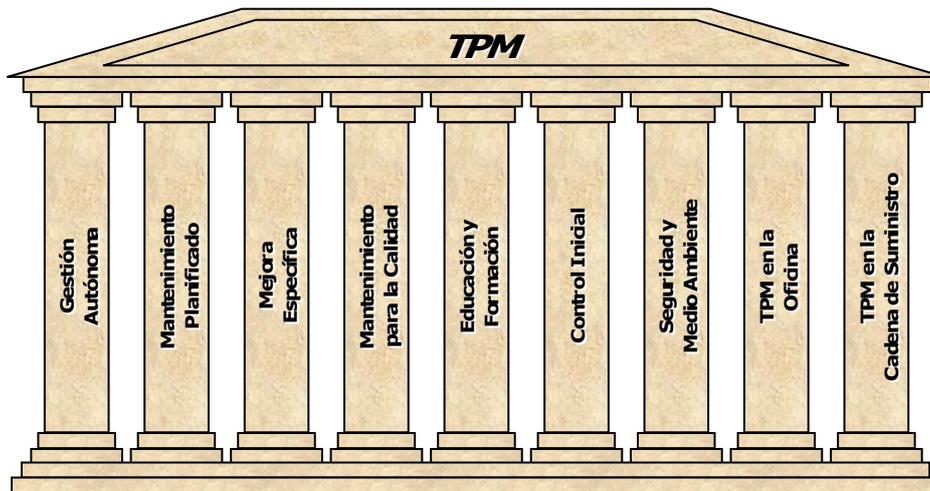


Figura 7. Pilares del TPM

El Pilar de Gestión Autónoma se encarga principalmente de:

- Capacitar a los operadores para la gestión y búsqueda de mejoras en su zona de trabajo
- Realizar actividades de Gestión de las condiciones del equipo
- Analizar “pérdidas” de las máquinas para definir acciones correctoras y preventivas
- Desarrollo continuo de los operadores

El Pilar de Mantenimiento Planificado busca las “0 Averías”:

- Busca establecer un sistema de gestión de la disponibilidad y mantenimiento de los equipos
- La implantación debe ser hecha en conjunto con el Pilar de Gestión Autónoma
- Gestión de repuestos
- Aumentar el tiempo entre las averías (MTBF)
- Facilitar el mantenimiento; disminuir el tiempo de reparación de las averías (MTTR)
- Prevenir el deterioro
- Prever la avería

Las funciones principales del Pilar de Formación son:

- Mejora en las habilidades y competencias técnicas de acuerdo con cada función de trabajo en la fábrica
- Soporte a todos los Pilares y actividades
- Identifica que formación necesitan las personas y como deben ser formadas
- Desarrolla las habilidades, conocimientos y actitud conforme a los objetivo

Los Pilares de TPM

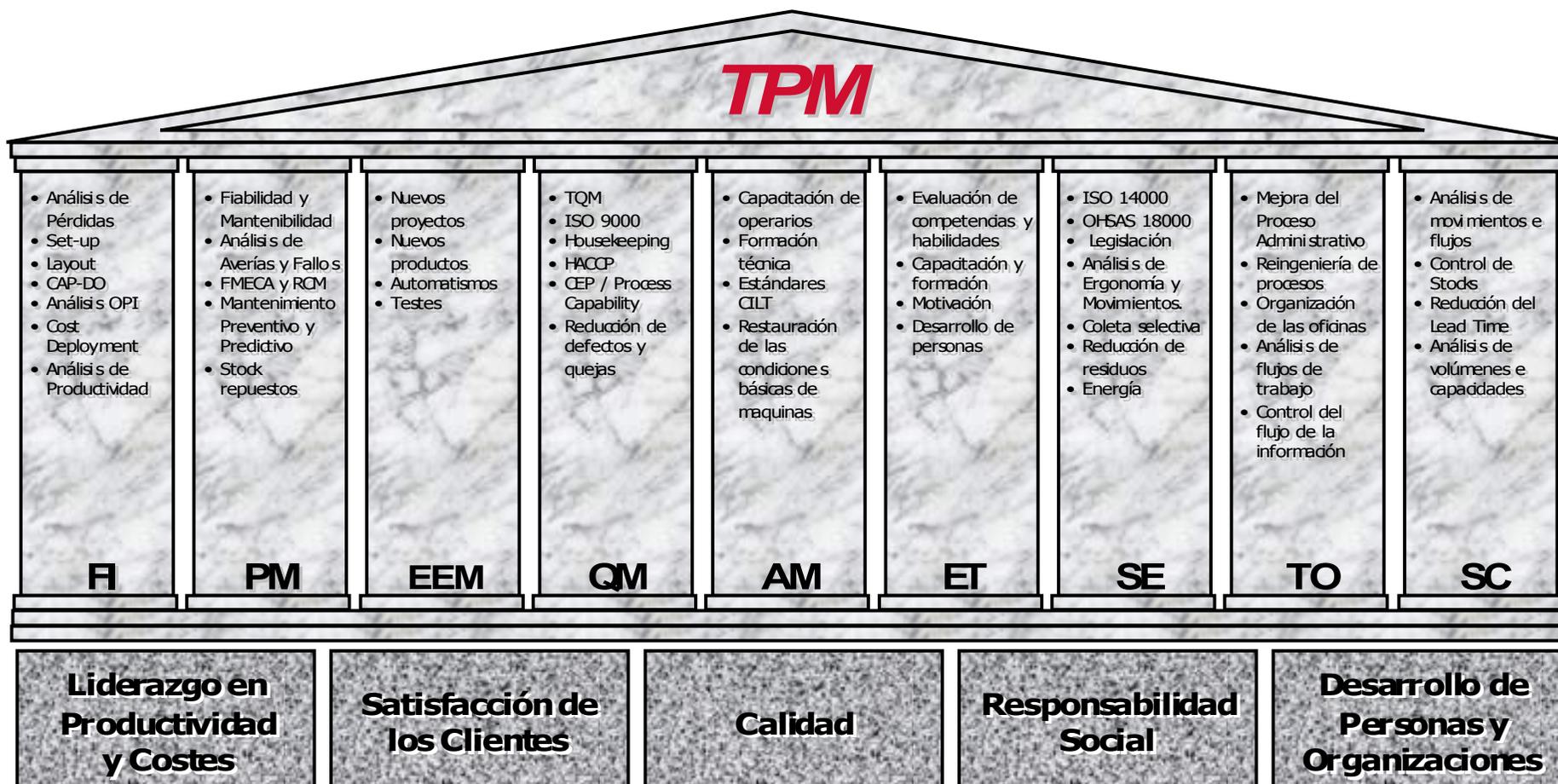


Figura 8. Funciones de los Pilares del TPM

4.1.6 La mejora del Rendimiento de la Línea

Esta es una función para la que TPM involucra a todas y cada una de las personas de la organización en cuestión, desde los operarios hasta la dirección de la misma. La mejora del rendimiento de la línea significa ahora lograr la utilización óptima de la misma.

Para ello será necesario eliminar todo tipo de pérdidas que en ella puedan tener lugar, pérdidas que podríamos resumir en seis tipos fundamentales (Wireman, 1998):

1. Pérdidas por averías
2. Pérdidas por cambios de formato y puestas a punto
3. Pérdidas por microparos
4. Pérdidas por arranques y paradas
5. Pérdidas por baja velocidad o capacidad reducida
6. Pérdidas por defectos en la calidad y reprocesos

Si se consigue eliminar cada una de estas pérdidas del equipo se conseguirá lo que se denomina la máxima eficacia global de los equipos (OEE – Overall Equipment Effectiveness) y a su vez de la línea; índice conocido en la fábrica de cerveza como **OPI** (Operational Performance Indicator).

La eliminación de la totalidad de estas pérdidas está más allá de la involucración y habilidad de algún único departamento de la organización. Es por eso que el TPM es una filosofía fundamentalmente operacional, que desarrolla un programa en el cual debe tomar parte todos los departamentos que, de alguna forma, tengan que ver con los equipos.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad\%} * \text{Tasa de Producción\%} * \text{Tasa de calidad\%}$$



$$\text{OPI} = \text{Eficacia\%} * \text{Eficiencia\%}$$

-
- Pérdidas por Averías
 - Pérdidas por cambio de formato y puestas a punto
 - Pérdidas por arranques y paradas

- Pérdidas por microparos
- Pérdidas por baja velocidad
- Pérdidas por defectos en la calidad y reproceso
- Pérdidas por defectos en puesta en marcha

4.2 Diseño de indicadores de rendimiento. OPI (operational performance indicator)

4.2.1 Introducción

Los costes de producción fijos de cervecerías dependen en gran parte del rendimiento de las operaciones de envasado. Dirección de cervecería y personal han tomado muchas iniciativas para optimizar su rendimiento. Se han desarrollado he implementado metodologías de mejora basadas en el OEE (Eficacia global del Equipo) y en TPM (Productive Total Maintenance).

Históricamente, se medía el rendimiento a través de la Eficiencia, concentrándose en minimizar las pérdidas de tiempo debido a los fallos y microparos. Desde 1992 también se tiene en cuenta la Eficacia para mejorar todo tiempo basado en preparar y mantener actualizada las líneas. En el 2000 se lanza el concepto de OPI, que abarca ambos aspectos, y fija los puntos de referencia de arriba mencionados. *Este OPI "en conjunto" es un indicador de rendimiento importante para estimular los costes óptimos fijados de envasado, fabricando productos de buena calidad con costes mínimos y produciéndolos a tiempo, en su totalidad.*

OPI composición

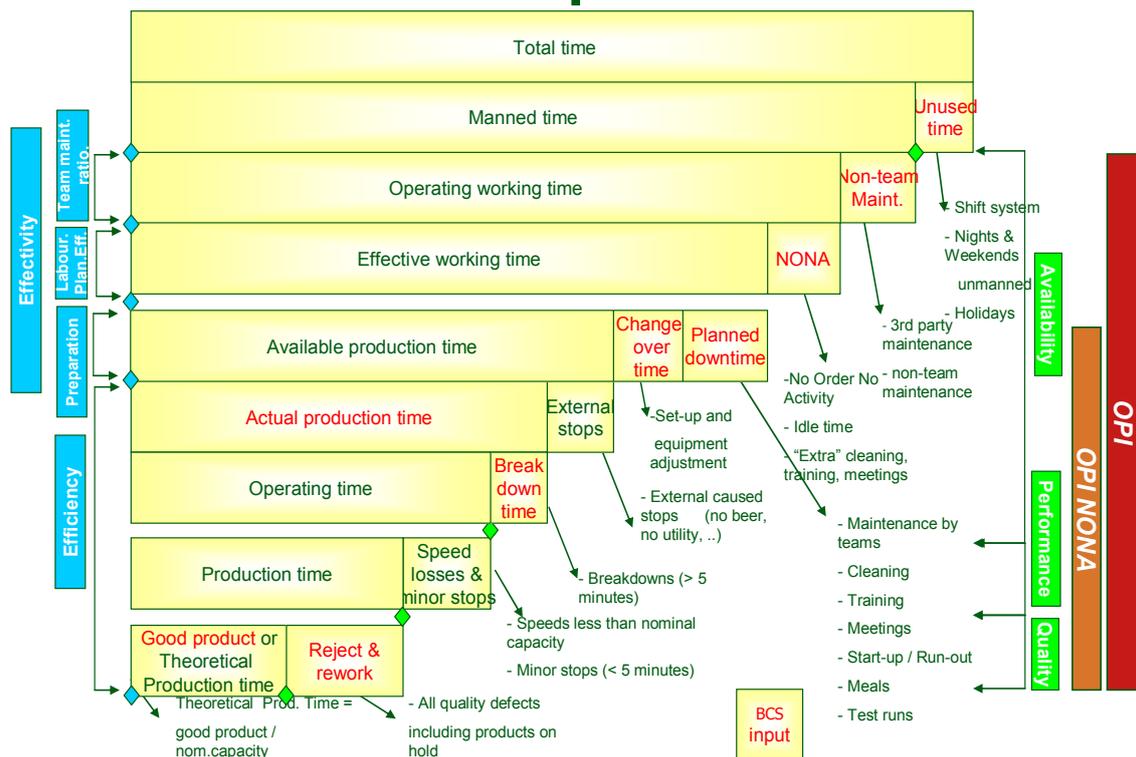


Figura 9. Composición de OPI

El OPI es adimensional y se expresa en %. Se puede calcular como el cociente entre las unidades buenas producidas (good product), frente a las unidades ideales (sin pérdidas) que se producirían en el tiempo tripulado (manned time). También se puede calcular como el cociente entre el Tiempo teórico de producción (Theoretical Production time) y el Manned time.

4.2.2 OPI - NONA

A partir de la definición del indicador de rendimiento operativo (OPI) introducido para su utilización en líneas de envasado y procesos de fabricación de la cerveza en BCS (Brewery Comparison System) en julio del 2000; han sido introducidos nuevos ratios de soporte: OPI NONA, Labour Planning Efficiency (Eficiencia de planificación del trabajo) y Team maintenance ratio (Mantenimiento del equipo); para un mejor enfoque sobre los aspectos que influyen en OPI.

El concepto de OPI NONA (ninguna orden, ninguna actividad) es relativamente sencillo. Incluye todas las tareas necesarias de los equipos de producción para producir las órdenes de producción incluyendo las actividades de paradas planificadas hechas por ellos. Pero el tiempo NONA y el mantenimiento no ejecutado por los equipos de producción son excluidos creando la diferencia entre OPI NONA y OPI.

El ratio "Mantenimiento del equipo" indica la influencia de los trabajos de mantenimiento ejecutados por otros equipos diferentes a los de producción.

4.2.3 Otros Conceptos

A continuación se van a definir conceptos importantes, y que deben de quedar claros para hacer un cálculo correcto de las pérdidas que componen el OPI.

4.2.3.1 *Producto bueno. Artículo defectuoso y reelaboración*

Producto bueno es todo producto distribuido que se ajusta a los rangos de tolerancia de los parámetros de calidad. Los rangos de tolerancia para aspectos como las UP (unidades de pasteurización) y el contenido de gas son especificados en los manuales de control de calidad. El criterio "el producto puede ser vendido" no es relevante porque existen productos con desviación en la calidad que pueden ser vendidos y sin embargo no son productos buenos.

Artículo defectuoso y reelaboración es todo aquel producto distribuido que no se ajusta a los rangos de tolerancia. Por consiguiente, artículo defectuoso y reelaboración incluye todo producto vendido con los defectos de calidad aceptados. Artículo defectuoso y reelaboración incluye también cualquier producto retirado de la línea después del llenado por motivos como por ejemplo nivel de llenado bajo, tapón defectuoso, etc.

4.2.3.2 *Capacidad nominal*

El producto bueno y el artículo defectuoso y la reelaboración son expresados en tiempo dividiendo por la capacidad nominal de la línea. Es esencialmente una norma ya que la velocidad real de la línea puede diferir ligeramente para optimizar su funcionamiento. Sin embargo, sin una norma es imposible medir el OPI, la eficiencia y el rendimiento.

La capacidad nominal debe estar basada en la ingeniería / especificaciones. Normalmente la capacidad nominal de la línea es la capacidad nominal de la *Llenadora* pero puede haber sido diseñada con el *Pasteurizador* tomando entonces la capacidad nominal más baja. Formatos diferentes pueden tener capacidades nominales diferentes.

4.2.3.3 *Manned time (Tiempo tripulado)*

- Unused time (tiempo sin usar)

Unused Time significa que nadie está haciendo algo con la línea.

Por otro lado, $Manned\ time = Total\ time - Unused\ time$

Donde Total time (tiempo total) = $7 * 24 = 168$ horas/semana, 52 semanas por año.

Manned time se ve sólo afectado por el Unused time ya que el Total time es un dato fijo.

Una buena manera de calcular el Manned time correctamente es:

Manned time

$Manned\ Time = Total\ time - Unused\ time$

En la práctica el Manned Time es obtenido mediante la siguiente expresión:

$Manned\ Time = Actual\ production\ time$ (tiempo de producción real) + External stops time (tiempo paradas externas) + Planned down time (tiempo paradas planificadas) + Change over time (tiempo cambio de formato) + NONA time (tiempo NONA) + Non-team Maintenance time (tiempo mantenimiento no equipo de producción).

Lo que implica la necesidad de obtener diferentes medidas asociadas a tiempos de operación en la línea de envasado. Las medidas necesarias para obtenerlo son:

- *Non-team Maintenance time (tiempo mantenimiento no equipo de producción)*

Se pretende diferenciar entre las actividades de mantenimiento ejecutadas por los equipos de producción y aquellas ejecutadas por un departamento dedicado al mantenimiento que informa al ingeniero de cervecería. Incluyendo el tiempo de mantenimiento realizado por los equipos de producción en "Planned down time" y el mantenimiento realizado por otros en el "Non-team Maintenance time". Ambos serán incluidos en el cálculo de OPI (el OPI - NONA no incluye el "Non-team Maintenance time").

- *No Order, No Activity (NONA)*

Este aspecto era conocido como "turno disponible, sin orden de producción". Debe ser parte del OPI porque los equipos son pagados durante esas horas. Solamente cuando están en ese tiempo realizando otros trabajos útiles como por ejemplo reparando barriles, clasificando botellas vacías, puede ser considerado como "Unused time".

Para mostrar el rendimiento de los equipos de envasado, OPI NONA se calcula excluyendo NONA y el "Non-team Maintenance time".

Es a veces difícil diferenciar entre NONA y el "Planned down time" (paradas planificadas). Siempre que el equipo estuviese haciendo algo relacionado con sus

trabajos normales (limpieza, training) que no fuese hecho si hubiese órdenes o trabajos para hacer en las regulares paradas planificadas, este tiempo debería ser considerado como NONA.

Si la línea termina antes debido a una alta eficiencia, entonces si los operadores hacen limpieza adicional o trabajan sobre la línea, este tiempo es clasificado como "NONA time". Si son reorganizados a otros servicios fuera del envasado es "Unused time".

- *Planned down (paradas planificadas) y Change-over time (cambio de formato)*

Las actividades de tiempo de paradas planificadas incluyen entre otras el training, las reuniones, la limpieza etc. Los cambios de formato son por supuesto también planificados, pero debe ser registrado por separado para permitir el cálculo del ratio de tiempo de cambio de formato.

- *Break-down time (tiempo de fallo), Speed losses (pérdidas de velocidad) y minor stoppages (microparos)*

Como parte del despliegue de OPI, es importante diferenciar el "Unplanned-down time" (tiempo improductivo no planificado) en 3 aspectos.

1. Artículo defectuoso y reelaboración ya descritos.

- "El Break-down time" (tiempo de fallo) es el tiempo perdido por las paradas que toman más de 5 minutos, típicamente debido a un fallo técnico. Las paradas superiores a 5 minutos en la llenadora causadas por el fallo de otra máquina son incluidas como " internal stops" (paradas internas) también, durante el tiempo que la llenadora está sin alimentación o bloqueada por acumulación a la salida. Las paradas internas son atribuibles al fallo de un equipo, a falta de personal y a otros acontecimientos similares.
- Un caso especial que da lugar a una parada interna son las también llamadas "External stops" (paradas externas). Éstas son causadas por circunstancias fuera de control de los equipos de envasado como por ejemplo falta de electricidad, envases, y cerveza.

External stops = Available production time (tiempo de producción disponible) - Actual production time (tiempo de producción real).

El registro de las paradas externas permite el cálculo del rendimiento de la línea que representa la eficiencia sin tener en cuenta dichas paradas:

Line Performance (rendimiento de la línea) = Theoretical Production time (tiempo de producción teórico) / Actual production time (tiempo de producción real)

Se deben excluir las " External stops" del " Actual production time" para dar lugar a rendimientos de línea en los que el equipo de producción es completamente responsable.

4.2.3.4 MTBF y MTTR

- MTBF (Mean Time Between Failures) es el tiempo medio entre fallos consecutivos en el equipo o línea.
- MTTR (Mean Time To Repair) es el tiempo medio necesario para reestablecer las condiciones de operación después del fallo.

4.2.4 Calculo de ratios

Se dispone de diferentes formas de obtener el indicador OPI (todas son equivalentes):

1. $OPI = \text{Theoretical Production time} / \text{Manned time}$
2. $OPI = \text{Availability} * \text{Performance} * \text{Quality}$
3. $OPI = \text{Effectivity} * \text{Efficiency}$
4. $OPI = \text{Team Maint. Ratio} * \text{Labour Planning Efficiency} * \text{OPI NONA}$

Donde el OPI NONA se calcula como:

1. $OPI\ NONA = \text{Preparation} * \text{Efficiency}$

Figura 10. $OPI\ NONA = \text{Theoretical Production Time} / \text{Effective Working Time}$

Donde :

$\text{Theoretical Production Time} = \text{Good product} / \text{Nominal capacity}$
 $\text{Efficiency} = \text{Theoretical Production time} / \text{Available production time},$

$\text{Effectivity} = \text{Preparation} * \text{Labour Planning Efficiency} * \text{Team Maintenance ratio}$

$\text{Effectivity} = \text{Available production time} / \text{Manned time}.$

$\text{Preparation} = \text{Available production time} / \text{Effective working time}$

$\text{Labour Planning Efficiency} = \text{Effective working time} / \text{Operating working time}$

$\text{Team Maintenance ratio} = \text{Operating working time} / \text{Manned time}$

$\text{Line Performance} = \text{Theoretical Production time} / \text{Actual Production Time}$

$\text{Asset Utilization} = \text{Theoretical Production time} / \text{Total time} = OPI * \text{Utilization}$

$\text{Utilization} = \text{Manned Time} / \text{Total time}$

$\text{Change-over down time ratio} = \text{Change-over time} / (\text{Available Production time} + \text{Change-over time})$

$\text{Manned time} = \text{Actual production} + \text{External stops} + \text{Planned down} + \text{Change-over} + \text{NONA} +$

+ Non-team Maintenance

Manned time = Total time – Unused time

Quality = Good product / (Good product + Reject & rework)

Quality = Theoretical Production time / Production time

Performance = Production time / Operating time

Availability = Operating time / Manned time

MTTR = Mean Time To Repair

MTTR = Sum of all Breakdown times / number of breakdowns

MTBF = Mean Time Between Failure

MTBF = Sum of all up-times / number of breakdowns

MTBF = Operating Time / number of breakdowns

MTBF = (Available Production time – Sum of all Breakdowns-Sum External) /
number of breakdowns

A_T = Technical Availability

$A_T = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$

5 Simulación en Líneas de Envasado

5.1 Técnicas de Simulación en Líneas de Envasado

5.1.1 Introducción a la simulación

En este proyecto se va a utilizar la técnica denominada *simulación* y más concretamente en su aplicación a *sistemas de eventos discretos*. Esta técnica es una de las más utilizadas dentro del campo de la investigación operativa para el análisis de sistemas complejos, donde la aplicación de otras técnicas de carácter analítico resulta poco eficiente y a veces sin posibilidad de alcanzar soluciones. El análisis experimental de la simulación obliga a la construcción de un *modelo* que debe ser un reflejo del *sistema* a estudiar. A partir de dicho modelo, se construye un *programa de ordenador*, donde se incorpora la información que se disponga del sistema. Tanto el modelo como el programa deben ser validados y verificados mediante diversos test experimentales. Finalmente, se diseñan los experimentos y se analizan los resultados de los mismos.

La simulación es una técnica de análisis de sistemas con un enfoque a “qué pasaría si...” Sus aplicaciones se centran en el estudio de los efectos que ocasionan cambios en un sistema real y en el estudio del comportamiento de nuevos sistemas. También se suelen utilizar en el análisis de las variables de control del sistema con el objetivo de establecer los valores óptimos de las mismas. Otras aplicaciones se centran en utilizar la simulación como instrumento pedagógico o como entrenamiento de personal.

Los sistemas más habituales y sobre los que existen más aplicaciones de la simulación son los sistemas dinámicos de eventos discretos. Una de las etapas más importante y que difiere de las técnicas analíticas consiste en la formulación del modelo de simulación.

La Simulación para el estudio de Sistemas, es un proceso complejo que conlleva varios pasos, diseñado para analizar un sistema simulado, construir un adecuado modelo de simulación, experimentar con él, y analizar e interpretar los resultados de la simulación.

En general la simulación se debe usar cuando el modelo no se puede resolver mediante técnicas analíticas, o cuando las hipótesis simplificadoras del modelo analítico no refleja suficientemente el sistema real.

En resumen, la simulación se puede considerar una herramienta muy útil en el análisis de todo tipo de procesos y tareas de diseño y operación de “*Sistemas complejos*”.

5.1.2 Propósitos de la Simulación

- Lograr capacidad de evaluación en la operación del sistema.
- Desarrollar políticas de operación para mejorar la ejecución del sistema.
- Probar nuevos conceptos antes de la implementación.
- Conseguir información sin perturbar el sistema actual.

5.1.3 Etapas de un Proyecto de Simulación

1. Formular el problema
 - Disposición de objetivos
 - Formular el modelo
 - Recoger y preparar los datos
 - Codificar el programa
 - Validar el modelo y verificar el programa
 - Diseñar y realizar los experimentos
 - Analizar e interpretar los resultados
 - Documentar el proyecto y presentar los resultados

5.1.4 Ventajas e Inconvenientes de la simulación

- Ventajas
 - Experimentar sobre un modelo, no en el sistema.
 - Una vez que el modelo está construido, se puede utilizar repetidamente para analizar cambios en el diseño o diversas políticas.
 - Suele ser menos costoso obtener datos de un proceso de simulación que de un sistema real.
 - Experimentación en tiempo reducido.
 - Pruebas por seguridad.
 - Los métodos de simulación son más fáciles de aplicar que los métodos analíticos.
 - Los modelos analíticos normalmente requieren asumir mucha simplificaciones para hacerlos matemáticamente tratables. Los modelos de simulación no tienen estas restricciones.
 - El entorno en el que se va a incluir el sistema puede ser controlado por el usuario
- Inconvenientes
 - Es una técnica imprecisa, por ser aproximada. Se estudia un modelo, no el sistema real.
 - Aumentar la precisión implica aumentar la complejidad del modelo. Esto implica un mayor coste de diseño.

- Pueden ser necesarias numerosas ejecuciones de la simulación, lo que implica un mayor coste de operación.

5.1.5 Necesidad de Simulación en Líneas de Envasado

Los KPIs (indicadores) principales de la fábrica de cerveza son el OPI (%) de las líneas de envasado junto al volumen de producción (HIs) y productividad (HIs/FTE).

FTE (Full Time Equivalent) es una unidad de persona para medir la productividad.

El desglose de OPI de la línea en los diferentes tipos de pérdidas que lo componen y para las distintas máquinas que conforman la línea, a través de técnicas TPM, permiten analizar los focos principales donde se concentran dichas pérdidas y detectar potenciales puntos de mejora.

La experiencia demuestra que no siempre el aumento de OPI en una máquina en concreto de la línea, a partir de la reducción de un tipo de pérdida, repercute en un aumento del OPI de la línea.

Esto se debe a que las relaciones, interacciones en nuestro sistema real son complejas o con cierto grado de incertidumbre. En estos casos se evalúan mediante la simulación. De forma que, los datos se utilizan para estimar las características del propio modelo.

Se requiere de una metodología para analizar y conocer el resultado de las diferentes estrategias posibles a aplicar en el OPI global de la línea nnb antes de llevarlas a cabo. Por lo que surge la necesidad de crear un laboratorio de simulación de dicha línea con el que se va a pretender :

- Analizar y cuantificar la repercusión en la eficiencia del tren, por consiguiente en el OPI de la línea, de las posibles estrategias TPM a llevar a cabo sin que conlleve coste alguno y en un tiempo reducido.
- Elaborar Plan Estratégico.
 - **Objetivos Potenciales del Proyecto de Simulación :**
- Mejora de la Eficacia
- Rediseños
 - Ajuste de velocidad de los transportes y máquinas
- Control del comportamiento
- Aplicación de la Metodología a otras líneas sin que conlleve un coste importante

5.1.6 Herramientas de simulación

Para poner en marcha sistemas automatizados que sean flexibles, complejos y con alta precisión, suele ser necesario construir sistemas de prueba caros y complejos.

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

En muchos casos esta complejidad hará muy difícil (o imposible) probar las soluciones propuestas, así como proveer su comportamiento global, lo que es indispensable para minimizar los riesgos. Para lograr estos objetivos a un costo razonable, se ha difundido el uso de metodologías y herramientas de simulación. Las simulaciones tendrán como objetivo ayudar a los investigadores y desarrolladores a modelar dichos fenómenos complejos.

Como se ha comentado con anterioridad las ventajas de la simulación son múltiples: puede reducirse el tiempo de desarrollo, las decisiones pueden chequearse artificialmente, y un mismo modelo puede usarse muchas veces. Por otro lado, la simulación es de empleo más simple que ciertas técnicas analíticas y precisa menos simplificaciones de los modelos empleados.

En los últimos años se han propuesto diversidad de técnicas novedosas relacionadas con la simulación de esta clase de sistemas.

El proyecto de simulación de la línea de envasado se va a desarrollar con dos herramientas de simulación diferentes CellSim y Arena, en concreto el modulo de Packaging (envasado).

Más adelante se analiza cada una de ella, se construye el respectivo modelo y se evalúan y comparan los resultados obtenidos por ambas técnicas.

5.1.6.1 CellSim.xls Factory Simulator

CellSim es un simulador de fábrica sencillo basado en una hoja de cálculo electrónica de EXCEL y creada con propósitos de enseñanza.

Este modelo viene sin ninguna garantía en absoluto y es distribuido libre de carga.

Está basado en las primeras ideas desarrolladas en Cornell, en un programa de simulación de fábrica llamado XCELL+, desarrollado por Richard Conway, William L. Maxwell y Steven L. Worona. Este paquete de simulación, XCELL+ apareció en 1980 cuando incluso el PC era una idea nueva.

➤ Instrucciones del archivo de programa de CellSim

El **modelo** se construye en la hoja llamada “Model” dentro del archivo de Excel CellSim.xls. No se puede construir un modelo en otra hoja, sin embargo, cada vez que realizamos una simulación, la descripción del modelo se almacena con el archivo xls de salida. Por lo que se puede resucitar un modelo salvado previamente usando el botón “Open a Model”.

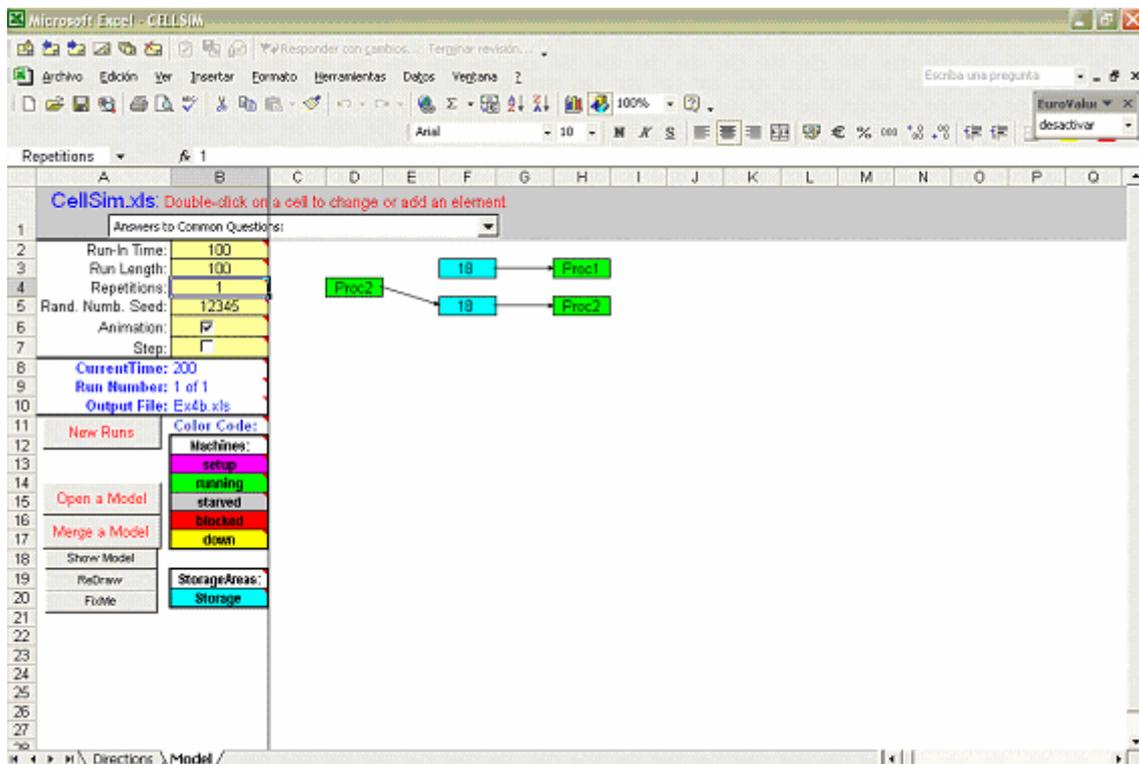


Figura 11. CellSim.xls

Los **resultados** de la simulación son almacenados en una serie de hojas en el archivo de salida:

- La hoja “**Inventory**” contiene la media, el máximo, el mínimo y el valor final del **stock** en cada una de las **áreas de almacenamiento** definidas en el modelo.

- Los datos del estado de cada área de almacenamiento se guardan también en hojas separadas, cada una con el nombre del almacén correspondiente.
- La hoja **“Machines”** contiene para el período de simulación y máquina definida previamente en el modelo:
 - la fracción de tiempo que ha sido utilizada (utilized)
 - la fracción de tiempo que ha estado parada por falta de alimentación (starved)
 - la fracción de tiempo que ha estado parada por falta de capacidad de almacenamiento a la salida (blocked)
 - la fracción de tiempo que ha estado parada por fallo o avería (down for repair)
 - el número de unidades rechazadas (units scrapped)
 - el número de unidades realizadas exitosamente
 - número de partidas y lotes completados
 - número de Setups
 - número de averías
- Los datos del proceso individual de cada máquina se almacenan también en hojas separadas, cada una con el nombre de la máquina correspondiente.

➤ **Controles de la simulación**

- **“Run-In Time”**: tiempo de simulación previo a la recogida de datos, a menudo usado para permitir mover el sistema fuera del estado inicial antes de la toma de datos. Puede ser cero si no se requiere un pre-período de simulación.
- **“Run Length”**: tiempo de simulación para cada repetición de la simulación.
- **“Repetitions”**: número de veces que se quiere repetir la simulación, una vez alcanzado el Run-In Time.
- **“Random Number Seed”**: Toda simulación nueva usa la misma secuencia de números aleatorios. Para conseguir una secuencia diferente hay que cambiar el número entero en esta celda.
- **“Animation”**: Si se pica esta celda se ve cómo va cambiando la fábrica a medida que corre la simulación.
- **“Step”**: Si se pica esta celda la simulación se desarrolla paso a paso.

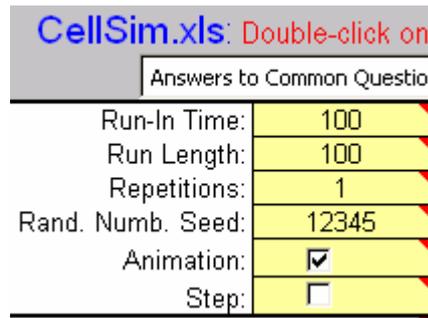


Figura 12. Controles CellSim

➤ **Simulación**

- **“New Runs”**: Lleva todas las áreas de almacenamiento y máquinas a sus valores iniciales y ejecuta la simulación.
- **“Continue Runs”**: Añade otra partida de simulaciones a los mismos datos pero sin volver al estado inicial y sin Run-In Time.
- **“Open a Model”**: Sirve para reabrir un archivo de salida y recuperar un modelo. Se puede continuar con la simulación (Continue Runs) ó ejecutar una nueva (New Runs).

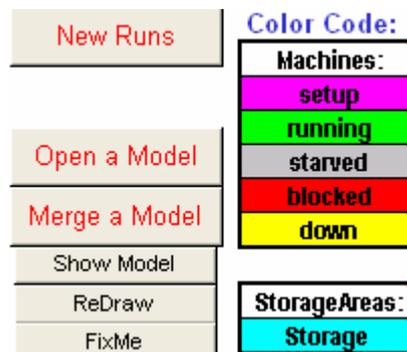


Figura 13. Simulación CellSim

➤ **Modelado**

Hay dos clases de elementos: Máquinas y Almacenes. Para añadir un elemento se hace doble click en una celda vacía y se responde a la pregunta que aparece donde se especifica el tipo de elemento a introducir.



Figura 14. Elementos CellSim

- Modelado de almacenes y productos

Los **almacenes** tienen tres propiedades:

- Nombre
- Capacidad
- Lista de productos

Los **productos** tienen dos propiedades:

- Nombre
- Stock inicial

- Modelado de máquinas y procesos

Las **máquinas** quedan definidas mediante cuatro propiedades:

- Nombre
- Distribución de Fallos
- Distribución del Tiempo de reparación
- Lista de procesos

Los **procesos** tienen bastantes propiedades:

- Nombre
- Tamaño del Lote (LotSize)
- Tamaño de la partida (BatchSize)
- % rechazo de la partida (Batch percent scrap)

- % rechazo de la unidad (Unit percent scrap)
 - Tiempo de Setup
 - Prioridad
 - Controles
 - Dos entradas
 - Salida normal
 - Salida de rechazos
 - Distribución de Tiempo de proceso
- LOTSIZE: Número de partidas (batches) a realizar después de cada setup. Si se alcanzan “BatchSize*LotSize” unidades no defectuosas completadas se terminará el proceso.
- BATCHSIZE: Número de unidades producidas en cada tiempo de procesamiento. Todas las unidades en un batch son procesadas simultáneamente.
- **Arranque**

CellSim se arranca abriendo el archivo CellSim.xls. Este archivo contiene “Macros” que lleva a cabo la simulación, así Excel puede advertir que los macros podrían contener material defectuoso (como un virus) y preguntar si realmente se quiere activar esos macros. Se responde “yes” y se espera a que el programa se cargue.

La primera página de CellSim.xls es un conjunto breve de las direcciones, que son reproducidas en la sección previa de este documento para su conveniencia.

La simulación real se lleva a cabo en la hoja nombrada “Model”. La parte superior (dos primeras filas) y la izquierda (la mayor parte de las dos primeras columnas), tienen información sobre el programa, botones para ejecutar las celdas de simulación y entradas para controlarlo.

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

The screenshot shows the CellSim.xls spreadsheet interface. The columns are labeled A through K, and the rows are numbered 1 through 21. The interface is divided into several sections:

- Row 1:** A header bar with the text "CellSim.xls: Double-click on a cell to change or add an element." and a dropdown menu labeled "Answers to Common Questions:".
- Rows 2-7:** Simulation parameters: Run-In Time: 100, Run Length: 100, Repetitions: 1, Rand. Numb. Seed: 12345, Animation: , Step: .
- Rows 8-10:** Current simulation status: CurrentTime: 200, Run Number: 1 of 1, Output File: Ex4b.xls.
- Rows 11-17:** A menu of actions: New Runs, Open a Model, Merge a Model, Show Model, ReDraw, FixMe.
- Rows 12-17:** A "Color Code:" legend for machine states:
 - setup (pink)
 - running (green)
 - starved (grey)
 - blocked (red)
 - down (yellow)
- Row 18:** A "StorageAreas:" legend with a "Storage" box (cyan).
- Diagram (Rows 3-7):** A process flow diagram showing two machines, Proc1 and Proc2, each with a buffer of 18 units. Proc2 feeds into Proc1.
- Row 17:** A tooltip box explaining the "Blocked" state: "Blocked: Machine is idle, having finished a unit when the appropriate 'Output' storage area is full. NOTE: Machine can be blocked by either 'Normal' or 'Scrap' output. In either case, the units just finished remain with the machine. Blocked cannot happen if the Output storage area is 'unAssigned'.".

Figura 15. Arranque Cellsim

Si se pasa el cursor sobre cualquiera de las celdas sombreadas en la columna B, estallará en vista una explicación de la celda. La explicación desaparece cuando se mueve el cursor lejos de la celda.

El área de debajo y hacia la derecha de la celda C3 es donde se construye el modelo y se muestra.

5.1.6.2 *Arena Packaging*

La edición de Arena Packaging es un sistema de simulación desarrollado por Rockwell Software para el análisis de rendimiento de sistemas de fabricación de alta velocidad y elevados volúmenes, donde las tasas de procesamiento tienen lugar en las centenas, incluso miles, de entidades por minuto.

Arena Packaging permite que los usuarios construyan y dirijan modelos de simulación de líneas de procesamiento de alta velocidad rápidamente y fácilmente, y analizar los resultados que estos modelos producen.

Es eficaz cuando se analizan líneas de envasado de fabricación de alta velocidad que son fundamentales para los procesos de fabricación de algunas industrias como comida y bebida, fármacos, tabaco, etc.

Está dirigido a ingenieros de envasado, industriales o ingenieros de sistemas de fabricación que están muy relacionados con el diseño y la operación de líneas de envasado de alta velocidad.

El modulo de Arena Packaging es un modulo disponible y añadido al Arena profesional.

➤ Ejemplos de aplicación:

- Pronosticar y validar el rendimiento de la línea en conjunto
- Valorar el ROI de nuevas tecnologías e inversiones de capital tales como equipos
- Diseñar una nueva línea de envasado
- Resolver una línea de envasado existente
- Determinar set up de la línea, los procedimientos de cambio de formato, y programas de mantenimiento
- Análisis de dotación de personal

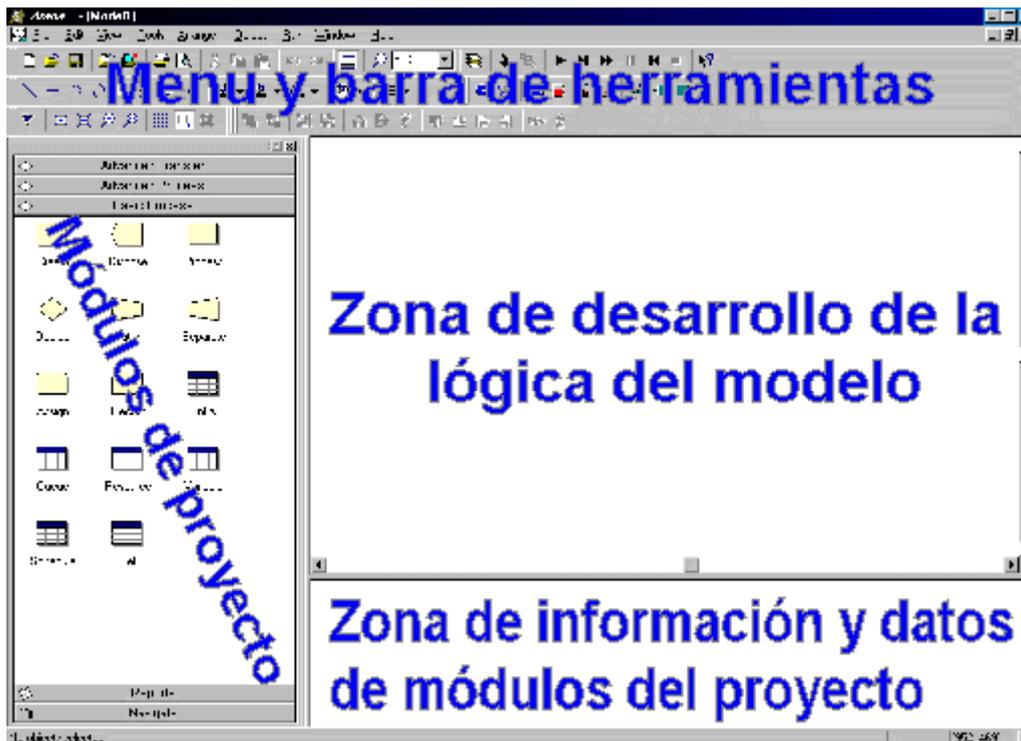


Figura 16. Software Arena Profesional

➤ **Conceptos generales**

Para usar la edición de Arena Packaging, se adjunta el panel de *Packaging* al entorno de desarrollo de Arena. El panel de Packaging contiene una colección de objetos o módulos. Cada módulo define la lógica, datos, animación, y/o colección de estadísticas para un elemento en particular dentro de un modelo (por ejemplo máquinas, cintas transportadoras, operadores). El panel de packaging contiene los siguientes módulos:

- **“Machine”** (máquina) para modelar los componentes físicos (máquinas) de una línea donde tiene lugar el procesamiento, transformación de las unidades.
- **“Conveyor”** (transporte) para modelar los transportes, buffers entre máquinas donde las unidades son transferidas y acumuladas.
- **“Machina Link”** y **“Conveyor Link”** para conectar máquinas y transportes que están juntos directamente.
- **“Merge”**, **“Split”** y **“Switch”** para modelar puntos de transferencia entre transportes donde las unidades se dividen o combinan.
- **“Operator”**, **“Operator Group”** y **“Operator Schedule”** para modelar la disponibilidad y organización del trabajo en el sistema.
- **“Palletizer”** y **“Storage”** para modelar componentes físicos de una línea donde las unidades son almacenadas, guardadas (storage) o retiradas de palets (palletizer).

- **“Valve”** y **“Tank”** para modelar las restricciones de las operaciones de llenado del fluido.
- **“Product”** y **“Production Plan”** para definir múltiples productos procesados en un sistema y sus requerimientos.
- **“Actions”** para llevar a cabo las acciones sobre un sistema de alta velocidad (por ejemplo cambiar la velocidad de las máquinas, ajustar válvulas, añadir palets a un almacén) usando entidades discretas y lógicas.
- **“Label”** para designar una parte particular del modelo lógico; por el , las entidades discretas pueden ser enviadas fácilmente al “Label” desde otra localización dentro del modelo.
- **“Simulate”** para opciones de modelo avanzadas (por ejemplo unidades de medida, colecciones de estadísticas).

5.2 Modelo Real. Línea de Envasado “Tren 5”

“Un tren es un conjunto de aparatos, máquinas ó instrumentos necesarios en una industria, para realizar una operación ó servicio determinado”.

Del mayor ó menor éxito que se obtenga en la coordinación de los diferentes elementos, maquinarias y transportes que compongan la línea, dependerá el mayor ó menor rendimiento de la instalación.

Las cada vez mayores exigencias del mercado en lo que a presentación del producto se refiere, hacen que a las líneas de envasado, cada vez se le añadan más y más máquinas para poder realizar más y más tareas distintas. Y es esa exigencia del mercado, lo que nos obliga a que todas esas tareas se realicen con el mayor índice de calidad posible.

En esta línea denominada “Tren 5” se envasa la cerveza en botellas de vidrio no retornables de 25cl y se presentan empaquetados bien en bandejas de 24 botellines, ó en paquetes de 4 packs de 3x2 botellines cada uno.

Se caracteriza por ser una línea de vidrio no retornable; por lo que las botellas vacías que llegan nuevas sólo sufren un proceso de enjuagado como se ha explicado con anterioridad.



Imagen 1. Línea de Envasado “Tren 5”

- Las Máquinas que configuran este línea de envasado son :

- Despaletizadora de Vidrio Nuevo
- Enjuagadora de Botellas
- Inspector Botella Vacía
- Llenadora-Taponadora de Botellas
- Pasteurizador Tunel de Botellas
- Etiquetadora de Botellas
- Codificador de Botella Etiquetada
- Inspector Nivel Tapón y Etiquetas
- Clusterpack Sixpacks
- Codificador Unidad Ventacartón Sixpacks
- Empaquetadora Kisters
- Codificador Unidad Ventacartón Videojet
- Paletizadora de Cajas
- Enfardadora de Palet
- Codificador Etiqueta Palet Terminado
- Los transportadores, “buffers” o acumuladores de botellas, que conforman las entradas y salidas de las diferentes máquinas, así como el trayecto que recorre la botella entre dos máquinas consecutivas, son:
 - Transportador Botella Despaletizadora a Inspector
 - Transportador Botella Inspector a Llenadora
 - Transportador LLenadora a Pasteurizador
 - Transportador Botella Pasteurizador a Etiquetadora
 - Transportador Botella Etiquetadora a Desvío
 - Transportador Botella Desvío a Agrupadora
 - Transportador Botella Desvío a Clusterpack
 - Transportador Botella Agrupadora a Paletizado

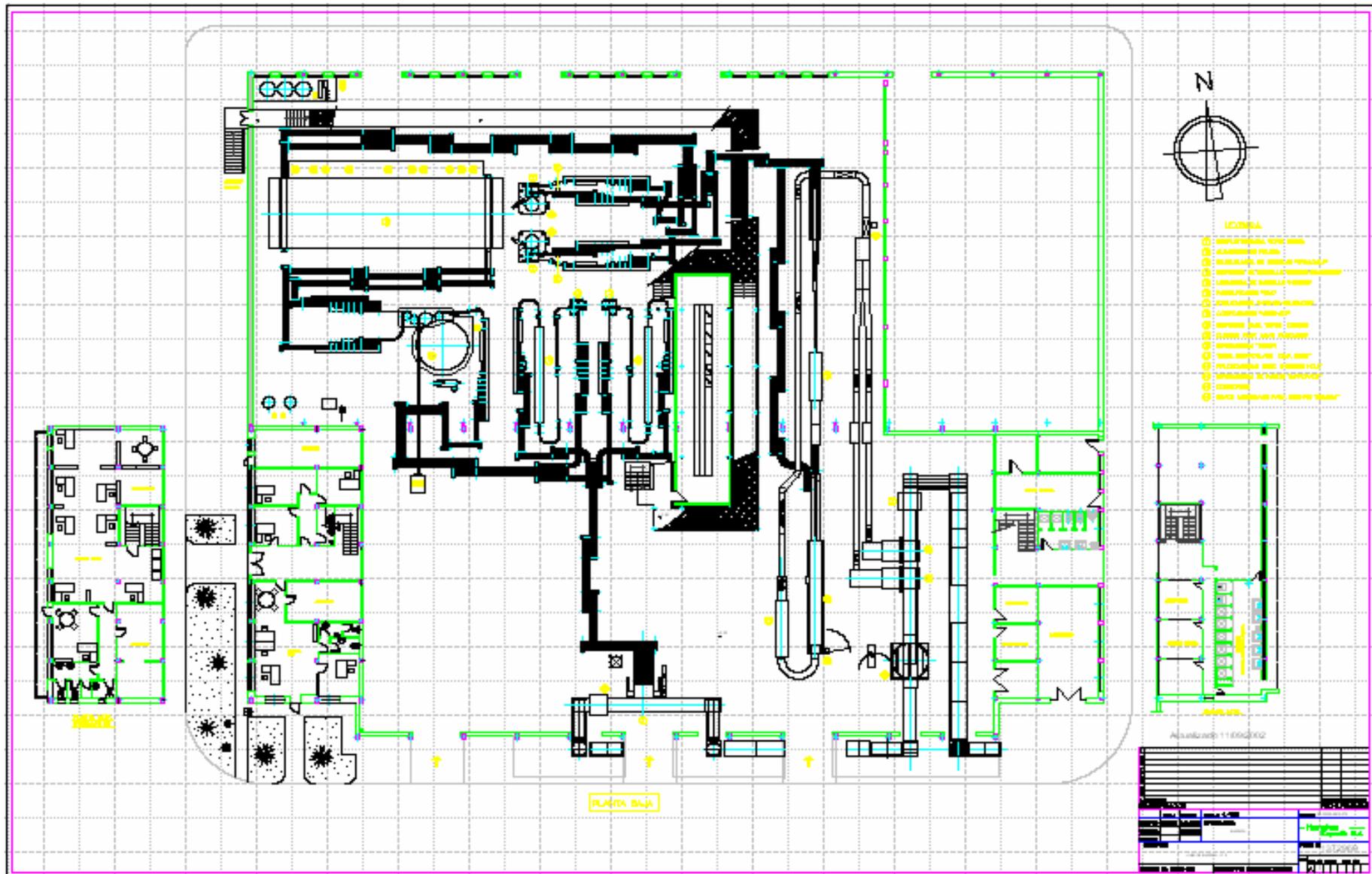


Figura 17. Línea de Envasado “Tren 5”

5.2.1 Descripción Proceso de Envasado “Tren 5”

Los palets de entrada a la línea se encuentran apilados verticalmente en un “Almacén de Palets” situado muy próximo a la Despaletizadora.

Dichos palets están formados por 6 filas de 410 botellas de vidrio nuevas cada una.

La primera máquina que interviene en el proceso es la Despaletizadora. El **despaletizado** es una operación previa al llenado, que consiste en tomar los envases de vidrio nuevos desde el palet y entregarlos ordenadamente al transportador que alimenta a la línea de envasado.

En la operación de despaletizado confluyen los siguientes elementos:

- La máquina despaletizadora y transportadores asociados
- La unidad de carga a despaletizar
- El tipo de envase
- El operador de la máquina

Un carro elevador posiciona la paleta llena de envases nuevos en un transportador alimentador de paletas, que la desplaza hasta la despaletizadora, la máquina retira capa a capa los envases nuevos y las láminas separadoras, posiciona las botellas en el transportador que alimenta a la línea y desplaza la paleta vacía hasta un almacén dispuesto en la máquina para tal fin.

Para llevar a cabo su cometido, esta máquina está formada por los siguientes grupos funcionales:

- Transportador alimentador de paletas llenas
- Transportador a zona de despaletizado
- Dispositivo de retirado y almacenado de láminas separadoras
- Dispositivo de retirada de capas
- Elevador de capas
- Transportador de envase a la línea de envasado
- Dispositivo de extracción de capas
- Apilador de paletas vacías
- Automatismos de control y accionamientos
- Puesto de mando o consola de operador



Imagen 2. Despaletizadora de Vidrio Nuevo

La puesta en marcha y paro de dicha máquina es a través de dos fotocélulas de presencia de botella situadas al principio y final de la Mesa de botella. La primera fotocélula tiene como finalidad principal parar la máquina, en caso de que una botella se encuentre caída a dicha altura, para evitar que el carro tropiece con ella pudiendo ocasionar daños en la máquina y derribo de las botellas que arrastra.

La siguiente operación es el proceso de **enjuagado** de las botellas. Este tren de envasado está formado por dos Enjuagadoras funcionando en paralelo.

Las botellas se desplazan desde la Despaletizadora a las Enjuagadoras por el primer transporte de la línea.

Los Transportadores se instalan entre las diferentes máquinas que componen la línea, sirviendo de elemento de unión y sincronismo entre dos máquinas.

La velocidad de los transportes se fija mediante los variadores de velocidad; y su puesta en marcha y paro, es a través de detectores de posición (final de carrera) y detectores ópticos (fotocélulas), que lo que indican es la presencia ó ausencia de botella en una zona localizada del transporte; concretamente, donde están ubicados.



Imagen 3. Variador de velocidad

El ancho de los transportes puede variar de una zona a otra, pero generalmente no cambia notablemente salvo al final del transporte donde, en un recorrido corto, pasa del ancho correspondiente, a un carril de una sola botella. Esto se debe a que la mayoría de las máquinas (enjuagadora, llenadora, etiquetadora, etc.) procesan las botellas de una en una.

Dicho primer transporte consta de tres tramos, un tramo inicial a la salida de la Despaletizadora que se divide en dos tramos iguales dirigidos cada uno de ellos a una Enjuagadora.

El objetivo de la Enjuagadora es conseguir lavar y esterilizar la botella con la presentación de brillo y transparencia dentro de las normas de calidad que la cerveza envasada exige.

La Enjuagadora es un túnel por donde las botellas circulan en fila de uno por su interior y son lavadas exclusivamente con agua tratada previamente según su dureza para evitar incrustaciones.

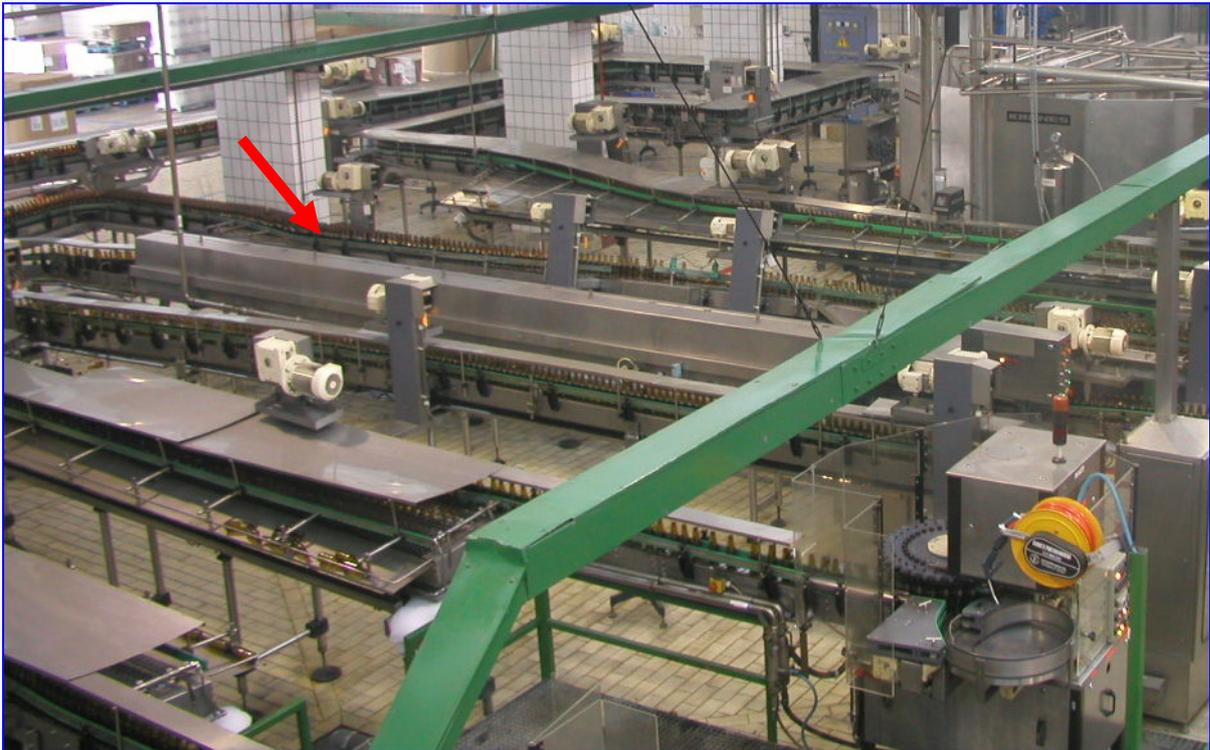


Imagen 4. Enjuagadora de botellas

A la salida de cada Enjuagadora se encuentra un Inspector de Botellas Vacías.

El Inspector está concebido para la *inspección* sin contacto de envases. Esta operación tiene por objeto comprobar el estado de los envases que salen del proceso de lavado y rechazar las que presenten defectos con respecto a un envase patrón de referencia predefinido.

A través de él se reconocen los siguientes defectos:

- contaminaciones opacas y transparentes en el fondo del envase
- bocas rotas o sucias
- contaminaciones en las paredes interiores y exteriores, así como objetos extraños

Las botellas rechazadas son desplazadas a un acumulador de botellas próximo al inspector por dicha máquina instantáneamente sin ralentizar el proceso. Dichas botellas son retiradas posteriormente por un operario.



Imagen 5. Inspector de botellas vacías



Imagen 6. Transportes cubiertos dirección operación de llenado

Los transportes de salida de cada uno de los inspectores se unen en uno sólo y desplazan las botellas lavadas e inspeccionadas hacia la Llenadora – Taponadora de botellas.

El traslado de las botellas desde el proceso de inspección de las botellas lavadas hasta que son cerradas por la Llenadora-Taponadora, es a través de transportes *cubiertos* para evitar la deposición de algún tipo de suciedad en el interior de las botellas (Imagen 6).

El **llenado** es la operación más importante del proceso de envasado. La operación consiste en llenar los envases bajo atmósfera (CO_2 ó N_2) consiguiendo el nivel adecuado. Las botellas llenas se transfieren a la cerradora.

La operación de **cerrado** consiste en la unión de la tapa o cierre con el envase. La tapa es el elemento que garantiza la duración e inviolabilidad del producto. Deben reunir ciertos requisitos:

- No modificar el producto en sus características
- Asegurar un sellado hermético
- Absorber cualquier diferencia entre el cierre y el envase
- No debe adherirse al envase

Los elementos que intervienen en la operación de llenado y cerrado son:

- Máquina (Llenadora – Taponadora)
- Envases (botellas)
- Elementos de cierre (tapones)
- La cerveza a envasar
- Factor humano

Las botellas aceptadas por los inspectores de botellas llegan a la Llenadora en el transportador, formando una sola fila. Si el bloqueador de botellas está abierto, las botellas pasan a un tornillo sinfín que las separa al paso de la máquina y las transfiere a la estrella de entrada que las transporta individualmente a los platos porta-botellas.

Los platos porta-botellas están montados sobre cilindros elevadores en el carrusel. Una vez transferida la botella al plato porta-botella, desciende una tulipa centradora sobre el gollete de la botella colocándose exactamente debajo de la válvula de llenado (grifos). Simultáneamente, el cilindro elevador levanta la botella y la aprieta contra la embocadura de la válvula de llenado. La botella se llena durante su recorrido por el carrusel.



Imagen 7. Entrada Llenadora – Taponadora de botellas

El llenado se efectúa de acuerdo con el principio de presión equilibrada. Esto quiere decir que, tanto en la botella como en el depósito existe la misma presión. La cerveza llena la botella debido al efecto de la gravedad y a la diferencia entre los niveles.



Imagen 8. Llenadora de botellas

Al final del recorrido, el cilindro elevador baja y la tulipa centradora se levanta y la botella sale por la estrella de salida. La estrella de salida transfiere la botella llena a la estrella de entrada de la taponadora. Antes de la colocación del tapón corona se le inyecta un chorro muy fino de cerveza a la botella, provocando la subida de espuma para desplazar el aire que pudiera contener el cuello de la botella.

La botella se cierra herméticamente con un tapón de aluminio engastado (corona) que asegura la buena calidad de la cerveza contenida en la botella.

Las botellas llenas entran a la taponadora mediante la estrella de entrada y ésta las posiciona en un soporte. Al girar la máquina las botellas se transportan conforme al eje vertical del cabezal que ha de cerrar la botella.



Imagen 9. Proceso de Llenado y Taponado de las botellas

La botella cerrada pasa del plato de cierre a la estrella de salida que la posiciona en el transportador que la desplazará hasta la siguiente máquina, el Pasteurizador.

La **pasterización** es un tratamiento térmico que tiene por objeto destruir mediante el calor los microorganismos que pudieran existir en un líquido alimenticio, alterando lo menos posible la estructura física del producto y sus componentes para asegurar la buena conservación del producto hasta la fecha límite de conservación.

Los pasteurizadores son máquinas que se utilizan específicamente en los envasados para el tratamiento térmico de la cerveza. Aparecen como una consecuencia de las exigencias de calidad y complementan la acción de la filtración, aún cuando esta sea una filtración estéril.



Imagen 10. Transportadores LLenadora a Pasteurizador

El procedimiento más utilizado en el envasado de cerveza es el pasterizado en máquinas tipo túnel, en los que el tratamiento se realiza de la siguiente manera:

Un conjunto de rejillas fijas y móviles desplazan las botellas desde la entrada hacia la salida del Pasteurizador. Las botellas al desplazarse atraviesan diferentes zonas de riego, cuyas temperaturas están perfectamente controladas. Unas boquillas de caudal apropiado garantizan el riego continuo de las botellas.

Avanzando desde la entrada hacia la salida, la temperatura del agua de las zonas de riego aumenta progresivamente hasta alcanzar la temperatura de pasteurización. Esta temperatura disminuye después progresivamente para permitir la salida de las botellas a una temperatura conveniente.

La carga y la descarga del Pasteurizador se producen por empuje de las botellas acumuladas. A la salida de la máquina existen detectores de acumulación que en caso de activarse se para el transportador de entrada y el movimiento de las rejillas durante un tiempo ajustable, transcurrido el cual, se pone nuevamente en marcha las rejillas y el transportador de entrada.

La temperatura a que se somete la cerveza depende de la velocidad de paso de las botellas por la máquina. La velocidad del tratamiento y la temperatura de las zonas, están reguladas automáticamente.



Imagen 11. Pasteurizador Tunel de Botellas

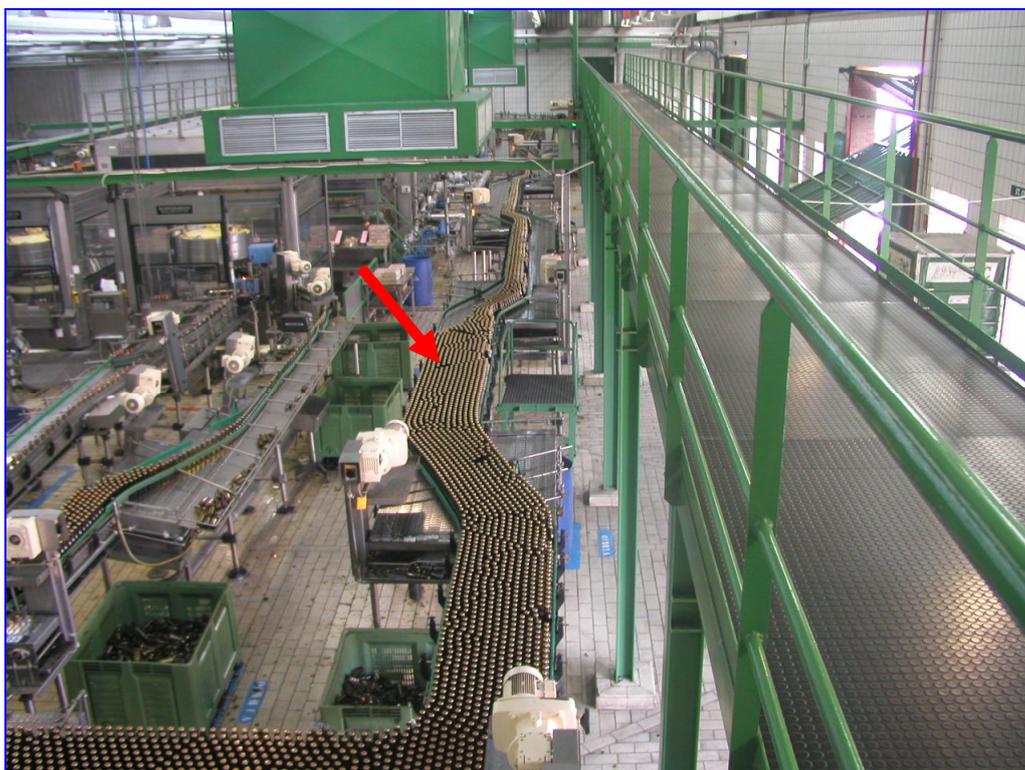


Imagen 12. Transportador de botella Pasteurizador a Etiquetadora

La siguiente operación es el **etiquetado** de las botellas. Este tren de Envasado consta de dos Etiquetadoras operando en paralelo.

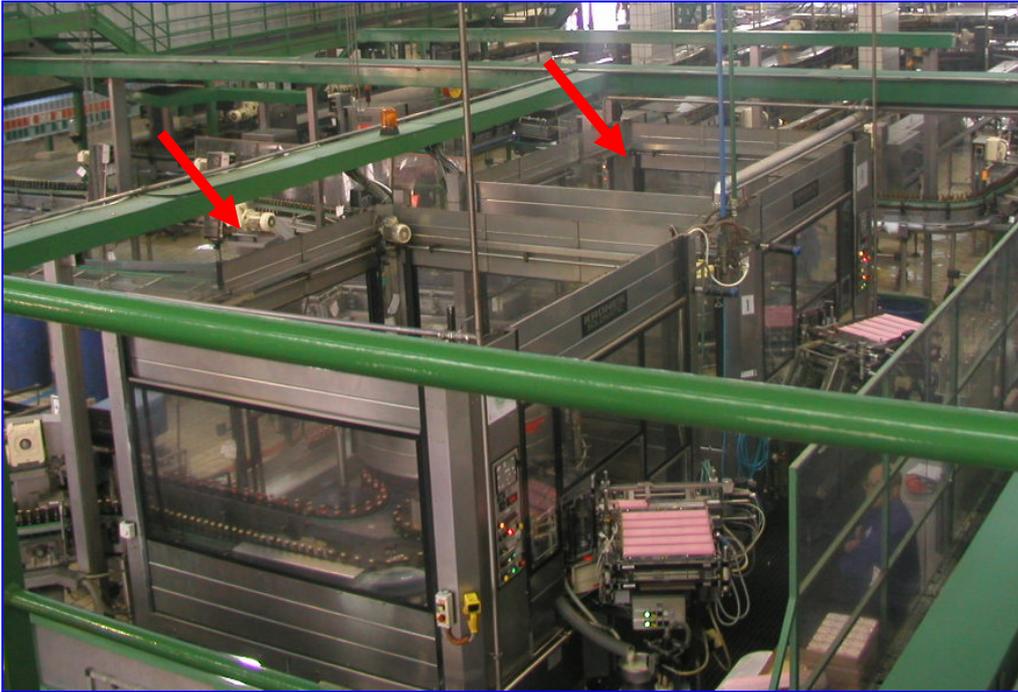


Imagen 13. Etiquetadoras de Botellas

La operación de etiquetado es la operación de colocar las etiquetas y distintivos que aparecen en la botella. La etiqueta identifica al producto e informa sobre sus características, las formas de usarlo y aspectos legales. Así mismo, la etiqueta permite proyectar la imagen tanto del producto como de su fabricante.

Los elementos que intervienen en el etiquetado son:

- La máquina etiquetadora
- Las etiquetas
- Las colas
- Las botellas
- El equipo humano

Las etiquetas se hacen en una gran variedad de tamaños, formas, materiales y tipos de adhesivos. Pueden aplicarse en cuello, hombro o cuerpo de botellas con máquinas automáticas.

El etiquetado puede efectuarse mediante adhesivo frío o en caliente. El tiempo de acción de estos adhesivos es variable; los de acción más lenta se usan en vidrio o metal. Se aplican mediante máquinas completamente automatizadas. Un operario carga las etiquetas en la máquina, ésta las toma individualmente, las encola y las presiona en el envase mientras actúa el encolado.



Imagen 14. Proceso de etiquetado de botellas.

Las botellas llenas y tapadas entran en la Etiquetadora mediante un tornillo sinfín que las transfiere a una estrella de entrada y ésta las posiciona en una mesa porta-envases. Las botellas reciben las etiquetas desde un cabezal de etiquetado al girar la mesa porta-envases. La botella ya etiquetada se retira de la mesa y se posiciona en un transportador mediante una estrella de salida.

Las etiquetas se transportan y transfieren desde un almacén de etiquetas hasta la botella mediante un carrusel de paletas que entrega las etiquetas al cilindro de transferencia, que las coloca en el espacio previsto de cada botella.

Las paletas (también denominadas segmentos) deben cumplir, entre otras, con las siguientes condiciones:

Aplicar la cola en el rodillo encolador de forma homogénea

Realizar sus movimientos de forma muy precisa

Entregar la etiqueta al cilindro de transferencia sin sacudidas

El adhesivo se aplica directamente a través de los rodillos encoladores accionados mecánicamente.

A la salida de cada etiquetadora se encuentra un inspector nivel-tapón que rechaza las botellas que no cumplan con alguna de las características exigidas en cuanto a nivel de llenado, tapón y etiqueta.



Imagen 15. Inspector Nivel Tapón y Etiquetas

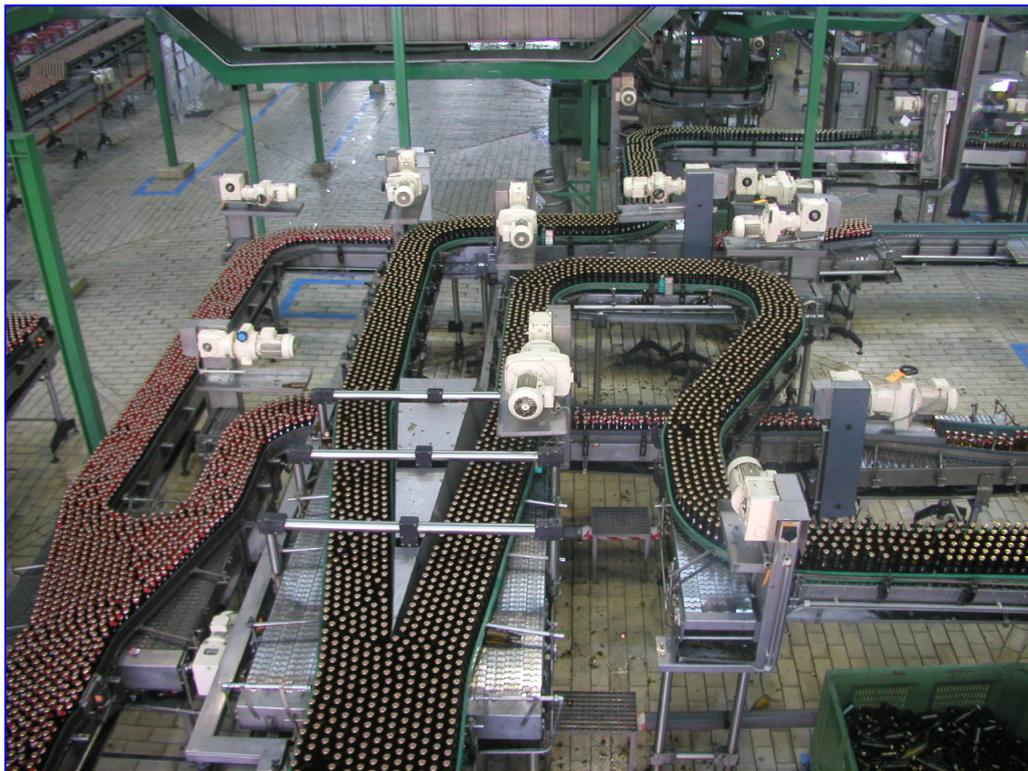


Imagen 16. Transportes de entrada y salida Etiquetadoras

El transporte dirección a la zona de empaquetado consta de una mesa de acumulación de botellas como podemos ver en la imagen siguiente.

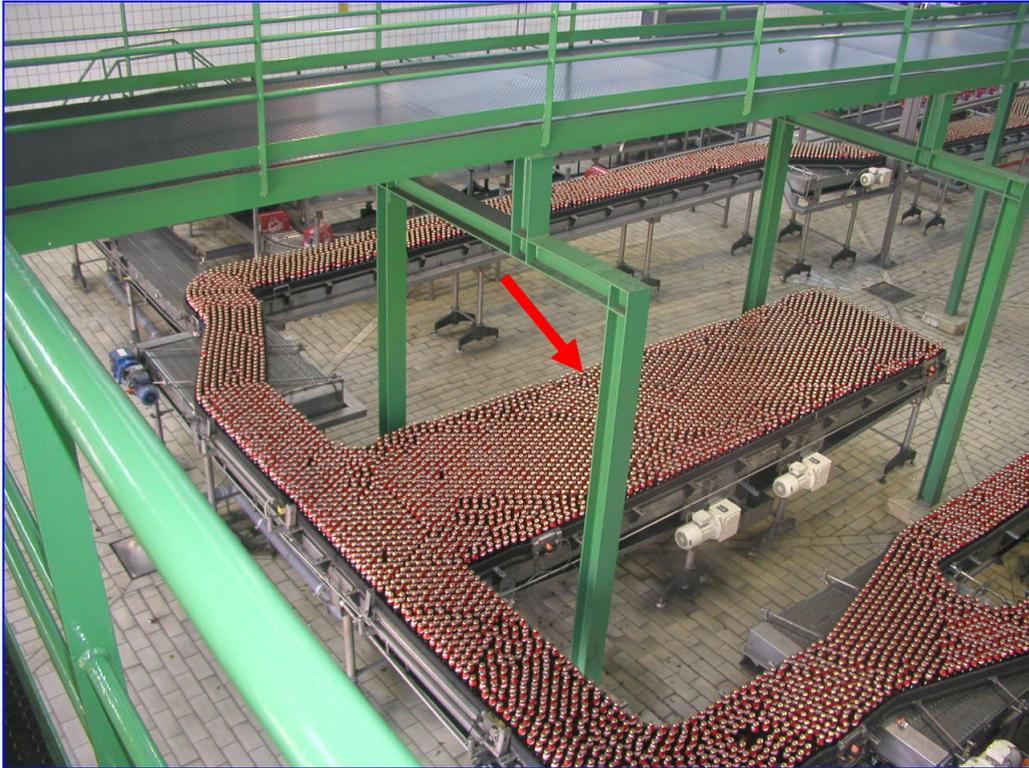


Imagen 17. Mesa de acumulación de botellas

El producto una vez embotellado y hasta que llega al consumidor final, se ha de proteger, almacenar, identificar y distribuir en la cadena comercial. El contenedor que cumple esta función, generalmente es una caja o bandejas de cartón ondulado. Esta caja puede ser preformada por el fabricante, o bien, como en este caso, plegables en la línea de embotellado mediante máquinas adecuadas.

Esta operación de **empaquetado** se realiza en máquinas que despliegan los cartones o bandejas alrededor de los envases y los cubren y cierran con adhesivos calientes.

La máquina Empaquetadora Kisters se compone de las siguientes secciones:

- Cinta alimentadora
- Sistema de separación
- Sistema de recorte de cartones
- Sistema de encolado
- Sistema envolvente
- Túnel de retractilado

La cinta alimentadora transporta el flujo de productos hacia la sección de separación. Es por tanto el comienzo del proceso de empaquetado.

El sistema de separación tiene la función de separar el flujo de productos en un grupo de productos correspondiente a un formato, por ejemplo en la formación 3x2.

El sistema de recortes de cartón tiene la función de suministrar los cartones traquelados para formar la bandeja de soporte del formato.

El sistema de plegado/encolado de bandejas de cartón tiene la función de una vez situado el recorte debajo del grupo de productos, encolar las pestañas y plegarlas para formar la bandeja.



Imagen 18. Empaquetadora Kisters – Sistema envolvente



Imagen 19. Empaquetadora Kisters – Transporte hacia Tunel de retráctilado

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

El proceso de envasado termina con el **paletizado**, operación contraria al despaletizado. Consiste en tomar las cajas que llegan en el transportador desde la Empaquetadora Kisters y disponerlas sobre un palet formando capas conforme a una configuración establecida (11 cajas por capa) y en un número de capas determinado (7 capas por palet) con el objetivo de formar una unidad de carga compacta y estable capaz de resistir, sin deformarse, el almacenado, el transporte y la distribución.

La Paletizadora funciona mediante un sistema de elevación y desplazamiento.

En la operación de paletizado confluyen los siguientes elementos:

- La máquina despaletizadora y transportes asociados
- El tipo de cajas a paletizar y su agrupamiento por capas
- El palet a conformar
- El tipo de envase
- El operador de la máquina

Estas máquinas son similares en su diseño a las despaletizadoras que ya vimos de forma más amplia. Así mismo existen máquinas que pueden ser utilizadas de forma combinada para paletización y despaletización.

Las cajas que llegan a la máquina paletizadora se agrupan, fila por fila, en un transportador de entrada con rodillos. Un empujador toma las filas de embalaje y las empuja hasta situarlas en la placa de carga.



Imagen 20. Transportes de rodillos dirección paletizadoras de botellas

En la placa de carga la capa de cajas se centra mediante centradores laterales y el empujador de filas. A continuación la estación de carga sube o baja con la capa y se posiciona sobre la última capa superior del palet. La placa de carga se retira y la nueva capa queda colocada en el palet.

La máquina paletizadora está formada por los siguientes grupos funcionales:

- Transportador alimentador de paletas vacías
- Transportador de cajas a zona de paletizado
- Estación de agrupamiento de cajas y colocación por capas
- Dispositivo de retirado de paletas llenas
- Automatismos de control y accionamientos
- Puesto de mando o consola de operador

Con la operación de paletizado termina el proceso de envasado.

Los palet quedan a disposición de ser almacenados para su posterior transporte y distribución.



Imagen 21. Paletizadoras de Cajas

5.2.2 Automatismos

Automatización quiere decir que todas las acciones necesarias para controlar un proceso de manera óptima son manejadas por un sistema de control sobre la base de instrucciones que han sido previamente programadas.

En un proceso automático el sistema de control debe comunicarse con cada componente controlado. Son ejemplos de este tipo de señales entre el sistema de control y el *proceso de envasado* que controla:

- Las señales de salida que actúan sobre los componentes del proceso.
- Las señales de entrada (retroalimentación) que proceden de válvulas y motores que informan al sistema de control que el componente en cuestión ha sido accionado.
- Señales de entrada analógicas procedentes de transmisores que proporcionan información sobre el estado de las variables del proceso.
- Señales de entrada procedentes de los monitores del sistema que informan cuando se ha alcanzado una condición determinada.

Todas las señales son procesadas por el sistema de control (PLC).

Entre todos aquellos instrumentos presentes en el proceso de envasado y que transmiten señales eléctricas representativas de un estado o de un nivel de medida, las fotocélulas, mencionadas en la descripción del funcionamiento de la línea, son de gran importancia y se encuentran ubicadas en los transportes a lo largo de toda el proceso de envasado.

5.2.2.1 Detectores ópticos (fotocélulas)

Un detector óptico o fotocélula es un elemento que transforma la energía luminosa en energía eléctrica. Al recibir una cierta intensidad luminosa, se crea en la fotocélula una pequeña tensión eléctrica. Esta tensión una vez amplificada acciona otros mecanismos.

La gama de sensores ópticos (fotocélulas) presentes en el mercado actual se pueden clasificar conforme al tipo de emisor y su correspondiente haz luminoso, según el método de detección y según el tipo de alimentación y de salida.

Los métodos de detección de las fotocélulas son tres: *por barrera*. Por *reflexión con catadióptrico* y por *reflexión directa* sobre el objeto.

El tipo de **barrera** está formado por una unidad emisora y otra receptora, situada sobre un mismo eje para formar, precisamente, una barrera luminosa, de tal manera que se produzca una señal cuando aquella queda interceptada por un objeto opaco.

La puesta en marcha y paro de los transportes y máquinas son controlados en su gran mayoría a través de la detección de presencia de botella mediante dichas fotocélulas ubicadas a lo largo de los transportes; especialmente, a la entrada y salida de máquinas, así como en la conexión entre dos transportes consecutivos.

El tipo de **reflexión con catadióptrico** esta formado por una unidad única que incorpora tanto emisor como receptor, y un catadióptrico que, situado frente al sensor, le dota de un elemento reflectante para formar también una barrera luminosa.

Para evitar fallos provocados por objetos muy reflectantes, los modelos más recientes vienen dotados de filtros polarizantes que, al hacer pasar solamente los rayos luminosos que inciden con un determinado ángulo, permiten reconocer exclusivamente los rayos reflejados por el catadióptrico.

El tipo de **reflexión directa** sobre objeto está formado, como el precedente, por una sola unidad que incorpora tanto el elemento emisor como el receptor, pero no utiliza un catadióptrico. Es el propio objeto el que, reflejando un haz luminoso que incide sobre sí, da lugar a la detección. Obviamente la distancia de detección de este tipo de fotocélula es más corta que la de los anteriores sistemas, con ellas es posible detectar varios tipos de objetos, incluso si están constituidos por material translúcido o transparente.

Otra posibilidad de efectuar detecciones que sean críticas por motivos de espacio, la proporciona la disponibilidad de fotocélulas de fibra óptica. Estas están formadas por una unidad base, que incorpora los circuitos y los fotodiodos emisor y receptor, propios de los grupos ópticos normales, y una sonda de fibra óptica.

Por lo que se refiere al tipo de alimentación de las células fotoeléctricas de la última generación, merece destacar la posibilidad de modelos considerados multitensión que pueden aceptar como alimentación cualquier tensión comprendida entre 12 y 240 V en corriente continua, y entre 24 y 240 V en alterna.

Para diversos modelos de corriente continua, es interesante la posibilidad de seleccionar, en la propia unidad, el modo de funcionamiento “impulso oscuro” o “impulso luminoso”, es decir, señal de salida con haz luminoso interrumpido o incidente, con sólo invertir la polaridad en los terminales de alimentación.

5.2.2.2 Otros captadores de información

Otros captadores de información presentes en el proceso de envasado son:

- Presostatos
- Termostatos
- Niveles de productos
- Detectores de flujo en tuberías
- Transmisores de presión
- Medidores de caudal, etc.

5.3 Modelado

Cómo ya se ha explicado con anterioridad, una línea de envasado es un conjunto de máquinas, equipos e instrumentos necesarios para realizar las operaciones propias del proceso.

Del mayor ó menor éxito que se obtenga en la coordinación de los diferentes elementos, maquinarias y transportes que compongan la línea, dependerá el mayor ó menor rendimiento de la instalación.

En la Línea de Envasado podemos distinguir dos clases de elementos a modelar: las **máquinas** que, realizan todas las operaciones necesarias para poner el producto (cerveza) en el mercado en las condiciones de calidad establecida por la empresa; y los **transportes** que, se instalan entre las diferentes máquinas que componen la línea, sirviendo de elemento de unión y sincronismo entre dos máquinas.

- Los datos a modelar referentes a las máquinas para simular la Línea de Envasado son:
 - Velocidad
 - % Unidades rechazadas
 - Distribución de tiempo entre microparos (MTBF)
 - Distribución de duración de microparos (MTTR)
 - Transporte/s de entrada
 - Transporte/s de salida
- Los transportes se definen por:
 - Capacidad
 - Velocidad
 - Dimensiones
 - Máquina ó Transporte de entrada
 - Máquina ó Transporte de salida

En la tablas 2 y 3 se muestran los diferentes transportes y máquinas a modelar que definen la línea de envasado “Tren 5” con las características constructivas, así como la localización de dichos transportes y las máquinas entre las que se encuentran.

Capítulo 5 – Simulación en Líneas de Envasado

LÍNEA	TIPO MAQUINA	MARCA	MODELO	Nº PLACA	AÑO	VELOCIDAD
5	ALMACEN PALET BUENO	SEITZ ENZINGER NOLL	MAG	3294930501	1990	
5	ETIQUETADORA PALETS	MD	LABEL PACK ROBOT II		677 2001	80 PALET/H 95000
5	CLUSTER PACK CODIFICADOR	MEAD PACKAGING	CP 850		399 1995	BOT/H
5	CLUSTER CODIFICADOR	VIDEO JET	EXCEL 170i UHS	IU94K11025		
5	PAQUETES CODIFICADOR	VIDEO JET	EXCEL 100	521421004WD		
5	BOTELLAS CODIFICADOR	VIDEO JET	EXCEL 170i UHS	IU94K11020		
5	BOTELLAS CODIFICADOR	VIDEO JET	EXCEL 170i UHS	IU94K11025		
5	DESPAL. BOTELLA	SEITZ ENZINGER NOLL	LORD SEN VA	329493-01/01	1990	65800 BOT/H 37000
5	ENJUAGADORA	PROCOMAT TWISTAR	1 R 75.500	P 1614	1990	BOT/H 37000
5	ENJUAGADORA	PROCOMAT TWISTAR	1 R 75.500	P 1632	1990	BOT/H
5	ENVOLVEDOR PALETS	IMPROPACK	ROTOR JET IPP 606	875	1995	60 PALET/H 90000
5	ENVOLVEDORA	KISTERS	197/60	901406	1990	BOT/H 40000
5	ETIQUETADORA	KRONES	SOLOMATIC 40.8.6/130 B(R)	K18.C08	1990	BOT/H 40000
5	ETIQUETADORA	KRONES	SOLOMATIC 40.8.6/130 B(R)	K18.C09	1990	BOT/H 36000
5	INSP. BOTELLA VACIA	KRONES	71121	711344	1990	BOT/H 36000
5	INSP. BOTELLA VACIA	KRONES	71121	711345	1990	BOT/H 42000
5	INSP. NIVEL/TAPON	KRONES	STRATEC. 150	7154	1989	BOT/H 42000
5	INSP. NIVEL/TAPON	KRONES	STRATEC. 150	7170	1989	BOT/H 65000
5	LLENADORA	KRONES	VK 2VCF 156/KK 26-87	131.485	1990	BOT/H 48000
5	PALETIZADOR	SEITZ ENZINGER NOLL	LORD VB 500	3294930401	1990	BOT/H 48000
5	PALETIZADOR	SEITZ ENZINGER NOLL	LORD VB 500	3294930403	1990	BOT/H 72000
5	PASTEURIZADOR	HOLSTEIN & KAPPERT	PIIS/55.170	388	1990	BOT/H

Tabla 2. Datos Técnicos Máquinas “Tren 5”

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

MAQUINA	TRANSPORTE	LOCALIZACIÓN TRANSPORTE	TIPO DE TRANSPORTE	Nº cadenas	ancho (cm)
DESPALETIZADORA	mesa botella	salida despaletizadora	CADENA fina	18	153
	DESP-ENJ	salida despaletizadora - bifurcación en dos	CADENA fina	8	68
	DESP ENJ1	bifurcacion dcha direccion entrada enjuagadora 1	CADENA fina	4	34
	DESP-ENJ2	bifurcacion izq direccion entrada enjuagadora 2	CADENA fina	4	34
ENJUAGADORAS	enjuagadoras	proceso enjuagado	CADENA fina	1	8,5
	ENJ1-INSPV1	entrada enjuagadora 1 - salida inspector vacío 1	CADENA fina	1	8,5
	ENJ2-INSPV2	entrada enjuagadora 2 - salida inspector vacío 2	CADENA fina	1	8,5
INSPECTORES DE VACIO					
	INSPV1- LLEN	salida inspector vacío 1 - unión	CADENA fina	4	34
	INSPV2- LLEN	salida inspector vacío 2 - unión	CADENA fina	4	34
	INSPSV-LLEN-1T	unión - dirección llenadora primer tramo	CADENA fina	8	68
	INSPSV-LLEN-2T	dirección entrada llenadora segundo tramo	CADENA fina	4	34
LLENADORA	llenadora	entrada y salida llenadora	CADENA fina	1	8,5
	LLEN-PAST-H	salida llenadora izq - dirección paster alto	CADENA fina	4	34
	LLEN-PAST-L	salida llenadora dcha - dirección paster bajo	CADENA fina	4	34
	ENT- PAST-H	entrada paster alto	CADENA ancha	2	38
	ENT- PAST-L	entrada paster bajo	CADENA ancha	2	38
PASTEURIZADOR					
	SAL-PAST-H	salida paster alto	CADENA ancha	2	38
	SAL-PAST-L	salida paster bajo	CADENA ancha	2	38
	PAST-H-ETQS	salida paster alto dirección etiquetadoras	CADENA fina	4	34
	PAST-L-ETQS	salida paster bajo dirección etiquetadoras	CADENA fina	4	34
	PAST-ETQS	unión dirección etiquetadoras	CADENA fina	8	68
	PAST-ETQ1	bifurcación etiquetadora 1	CADENA fina	4	34
	PAST-ETQ2	bifurcación etiquetadora 2	CADENA fina	4	34
ETIQUETADORAS					
	ETQ1-INSPNT1	entrada etiquetadora 1 - salida inspector nivel tapón 1	CADENA fina	1	8,5
	ETQ2-INSPNT2	entrada etiquetadora 2 - salida inspector nivel tapón 2	CADENA fina	1	8,5
INSPECTORES NIVEL TAPON					
	INSPNT1-EMP	inspector nivel tapón 1 - dirección empaquetado	CADENA fina	4	34
	INSPNT2-EMP	inspector nivel tapón 2 - dirección empaquetado	CADENA fina	4	34
	INSPSNT-EMP	unión tramos dirección empaquetado	CADENA fina	6	51

Capítulo 5 – Simulación en Líneas de Envasado

	MESA	mesa acumulación	CADENA fina	16	136
	INSPSNT-MEAD	unión tramos dirección mead	CADENA fina	6	51
	ENT-MEAD-IZQ	entrada mead carril izquierdo	CADENA fina	3	25,5
	ENT-MEAD-DCHA	entrada mead carril derecho	CADENA fina	3	25,5
	INSPSNT-KISTERS	unión tramos dirección kisters	CADENA fina	3	25,5
CLUSTER PACK MEAD - AGRUPADORA KISTERS					
	KISTERS-PAL	salida kisters tunel dirección paletizadoras	RODILLO	<i>no aplica</i>	50
	KISTERS-PAL1	carril dirección paletizadora 1	RODILLO	<i>no aplica</i>	50
	KISTERS-PAL2	carril dirección paletizadora 2	RODILLO	<i>no aplica</i>	50

Tabla 3. Datos Técnicos Transportes “Tren 5”

5.3.1 Modelo de simulación en CellSim

Los datos necesarios para modelar una máquina en de la línea de envasado están directamente relacionados con las propiedades del elemento máquina de CellSim.

Los transportes se modelan como áreas de almacenamiento.

En las tablas 4 Y 5 podemos ver la correspondencia entre las máquinas y transportes del modelo real y los definidos en CellSim.

MAQUINA MODELO REAL	MAQUINA CELLSIM
DESPALETIZADORA	DESPAL
ENJUAGADORA 1	ENJ 1
ENJUAGADORA 2	ENJ 2
INSPECTOR VACIO 1	IPv 1
INSPECTOR VACIO 2	IPv 2
LLENADORA TAPONADORA	LLENAD
PASTEURIZADOR	PASTEU
ETIQUETADORA 1	ETIQ 1
ETIQUETADORA 2	ETIQ 2
INSPECTOR NIVEL TAPON 1	IPnt 1
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	IPnt 2
CLUSTER PACK MEAD	MEAD
KISTERS	AGRU - TUNEL
PALETZADORA 1	PAL 1
PALETIZADORA 2	PAL 2

Tabla 4. Máquinas definidas en CellSim

TRANSPORTES MODELO REAL	TRANSPORTE CELLSIM
DESPALET ENJUAGADORAS DESPALET ENJUAGADORA1 DESPALET ENJUAGADORA2	DESP-EJ
ENJUAGADORA1 LLENADORA ENJUAGADORA2 LLENADORA ENJUAGADORAS LLENADORA	EJ1-IPv1 EJ2-IPv2 IPv-LLENA
LLENADORA PASTER	LLE-PASTE
PASTER ETIQUETADORAS PASTER ETIQ1 PASTER ETIQ2	PAS-ETIQ
ETIQ1 CLUSTER PACK MEAD ETIQ2 CLUSTER PACK MEAD ETIQUETADORAS CLUSTER PACK MEAD	IP-MEAD
KISTERS PALETIZADORAS TUNEL PALETIZ1 TUNEL PALETIZ2	TU-PALET

Tabla 5. Transportes definidos en CellSim

A continuación en la Figura 17 se muestra el modelo completo desarrollado con CellSim.

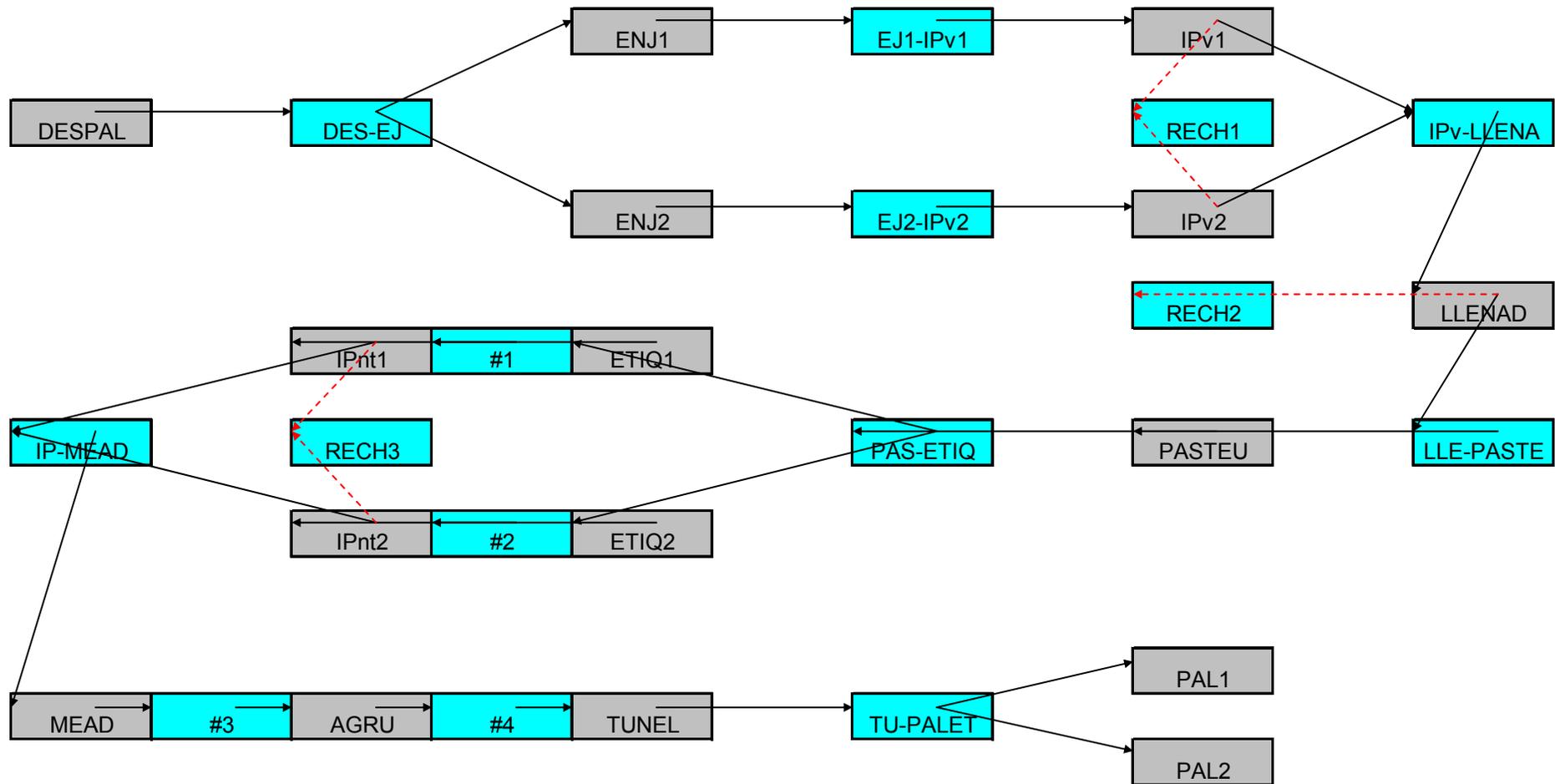


Figura 18. Modelo "Tren 5" en Cellsim

➤ **Limitaciones**

- La mayor problemática para modelar la Línea de Envasado con CellSim radica en que los transportes se tratarán como meros acumuladores de productos (StorageAreas) estando definidos únicamente por su capacidad.

Esto implica que los transportes no desplazarán el producto de una máquina a otra, comportándose como buffers. Esta simplificación del modelo tiene sentido cuando en el proceso real los transportes están llenos, estando siempre disponibles unidades de producto para ser procesadas a la entrada de las máquinas, sin tener que esperar el tiempo de llegada desde la máquina anterior.

- Uno de los parámetros principales que define las máquinas en CellSim, es la *Velocidad de Procesamiento* (tiempo necesario para procesar una unidad). Las Líneas de Envasado son sistemas de fabricación de alta velocidad y elevados volúmenes, donde las tasas de procesamiento tienen lugar en las centenas, incluso miles, de entidades por minuto. Esto se traduce en velocidades de procesamiento del orden de décimas y milésimas de minutos.

El grado de precisión de CellSim es inferior a estos valores incluso tomando como unidad de tiempo base “el minuto” (lo que ralentizaría las simulaciones).

Por ambas razones no se va a continuar con el desarrollo del modelo de CellSim.

5.3.2 Modelo de simulación en Arena

5.3.2.1 Metodología de modelado en Arena

Los estudios de simulación son iniciados porque una persona o grupo de personas responsables de adoptar decisiones enfrentan un problema y necesitan una solución. Un proyecto de simulación se debe empezar recogiendo suficiente información y datos para proporcionar un adecuado entendimiento tanto del problema como del sistema que va a ser estudiado. En cuanto este paso está completado se puede formular el modelo.

La descripción del Sistema Real objeto de estudio se encuentra desarrollada en el punto 5.2, visto con anterioridad.

Esta sección presenta la metodología de modelado con cinco pasos seguida para desarrollar el modelo de simulación en Arena Packaging. Los pasos de la metodología son ilustrados en la siguiente figura (Figura 14).

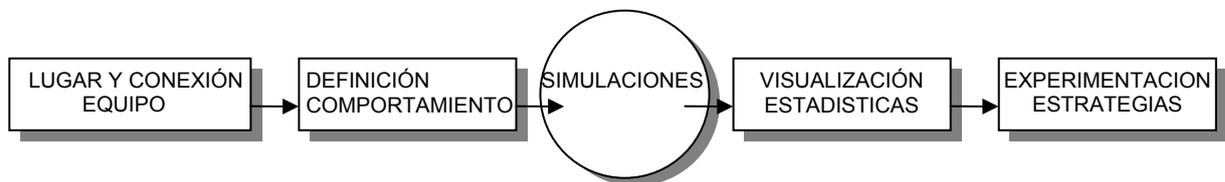


Figura 19. Metodología modelado

- **PASO 1. Lugar y Conexión de los Equipos**

En primer lugar, se construye el diagrama de flujo paso a paso de la secuencia de la línea desde la entrada de la materia prima hasta la conversión en producto terminado. En concreto, se realiza el diagrama de flujo de las máquinas y transportes conectando apropiadamente los módulos, desde el panel de Packaging dentro de la ventana del modelo en Arena.

- **PASO 2. Definición del Comportamiento de los Equipos**

El próximo paso es especificar los parámetros de simulación básicos (por ejemplo, las velocidades de procesamiento), características (por ejemplo, la confiabilidad, las pérdidas), y las dimensiones (por ejemplo, el largo, el ancho, la capacidad) para cada elemento individual en la línea.

Los datos que se han recogido y organizado sobre los elementos de la línea se muestran a continuación :

Máquinas

Nombre	Tipo de máquina	Velocidad (bot/min)	% unidades rechazadas
--------	-----------------	---------------------	-----------------------

Transportes

Nombre Velocidad (m/min) Largo (m) Ancho(m) Densidad (bot/ m²)

Dichos valores se mostrarán en el punto siguiente, 5.4, donde se desarrolla la recogida de datos.

En la edición de Arena Packaging se definen los parámetros de equipo vistos en las listas anteriores haciendo doble clic en los módulos y rellenando la información descrita en los diálogos del módulo. Por ejemplo, el diálogo principal del módulo de Conveyor (transporte) es el mostrado abajo en la Figura 15.

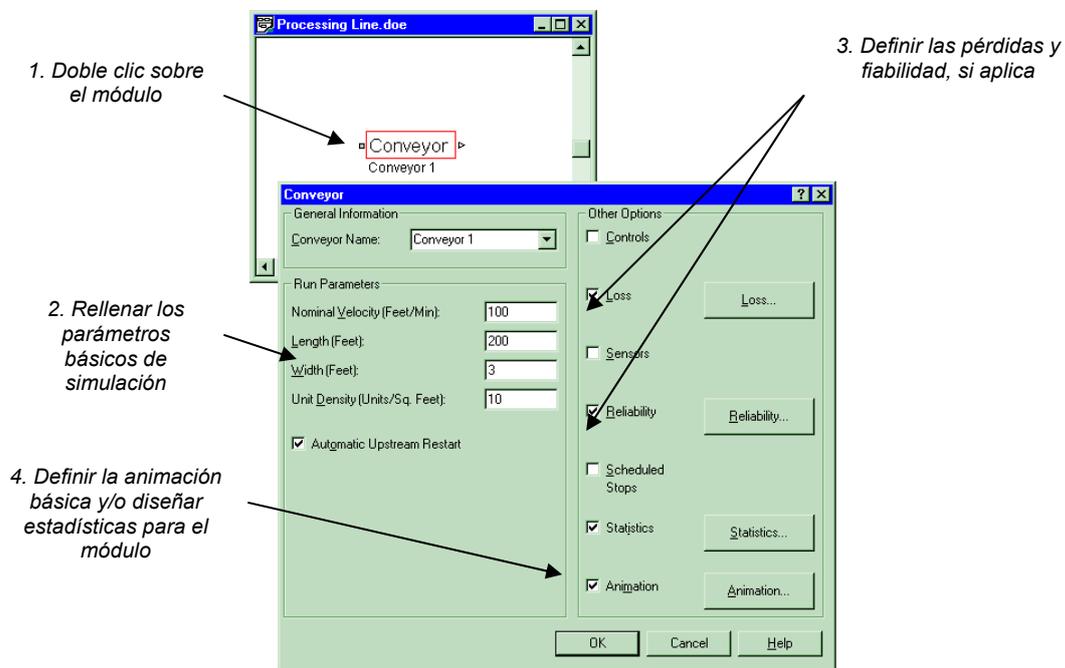


Figura 20. Diálogo principal Transporte

• **PASO 3. Simulaciones**

En este estado mientras que no se está probablemente listo para llegar a las conclusiones importantes aún con el modelo, se dispone de una herramienta completa en la que vamos a basarnos cuando el proyecto avance. Lo siguiente es dirigir este primer modelo en verificar que su lógica básica esté trabajando correctamente. La animación es una gran herramienta para verificar la lógica del modelo. Se puede también añadir detalles adicionales y estrategias futuras con las que experimentar.

En la edición de Arena Packaging, para dirigir un modelo, lo primero que debemos hacer es poner un módulo de Simulate. Este módulo define qué categorías del modulo estadísticas de Packaging se recogerán, así como la información adicional tales como unidades de medida.

Antes de comenzar una carrera de simulación, hay que especificar los parámetros del proyecto de simulación, tales como el número de reproducciones, la duración de la carrera, y las unidades de la base de tiempo.

Los resultados de las simulaciones se mostrarán más adelante en el punto 5.5 “Pruebas y Validación del modelo”; y en el Capítulo 6 donde se analizarán las Estrategias pertinentes.

3. Ver trayectoria de las variables tales como acumulación de los transportes, valores de entrada y salida, procesos, estados etc.

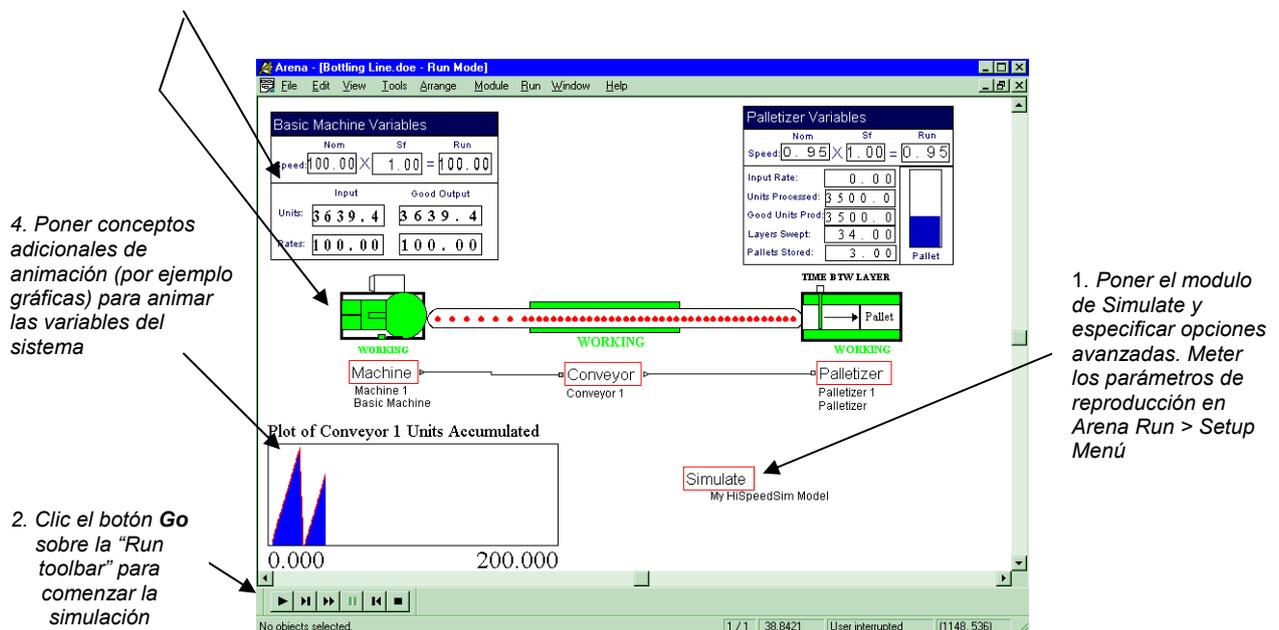


Figura 21. Carrera de simulación

• **PASO 4. Ver Estadísticas automáticas**

El objetivo principal de la mayoría de los estudios de simulación es generar las estadísticas sobre el rendimiento del sistema con el propósito de poder tomar decisiones, en consecuencia.

Después de ejecutar una carrera, los resultados de simulación son guardados en un archivo de base de datos (.mdb) de Microsoft Access con el mismo nombre.

Arena utiliza informes en Crystal Report para mostrar las estadísticas guardadas en la base de datos del informe.

- **PASO 5. Experimentar con las Estrategias**

En los primeros cuatro pasos de la metodología, se desarrolla un modelo base del proceso del sistema; se define el comportamiento básico de los equipos tales como las velocidades de procesamiento, las pérdidas, y la confiabilidad; y se lleva a cabo una carrera de simulación inicial.

En cuanto el modelo base y su estudio son terminados, se pueden utilizar adicionales características de Arena Packaging para experimentar con estrategias más complicadas y usos de la línea.

Este paso será analizado con más detalle en el Capítulo 6.

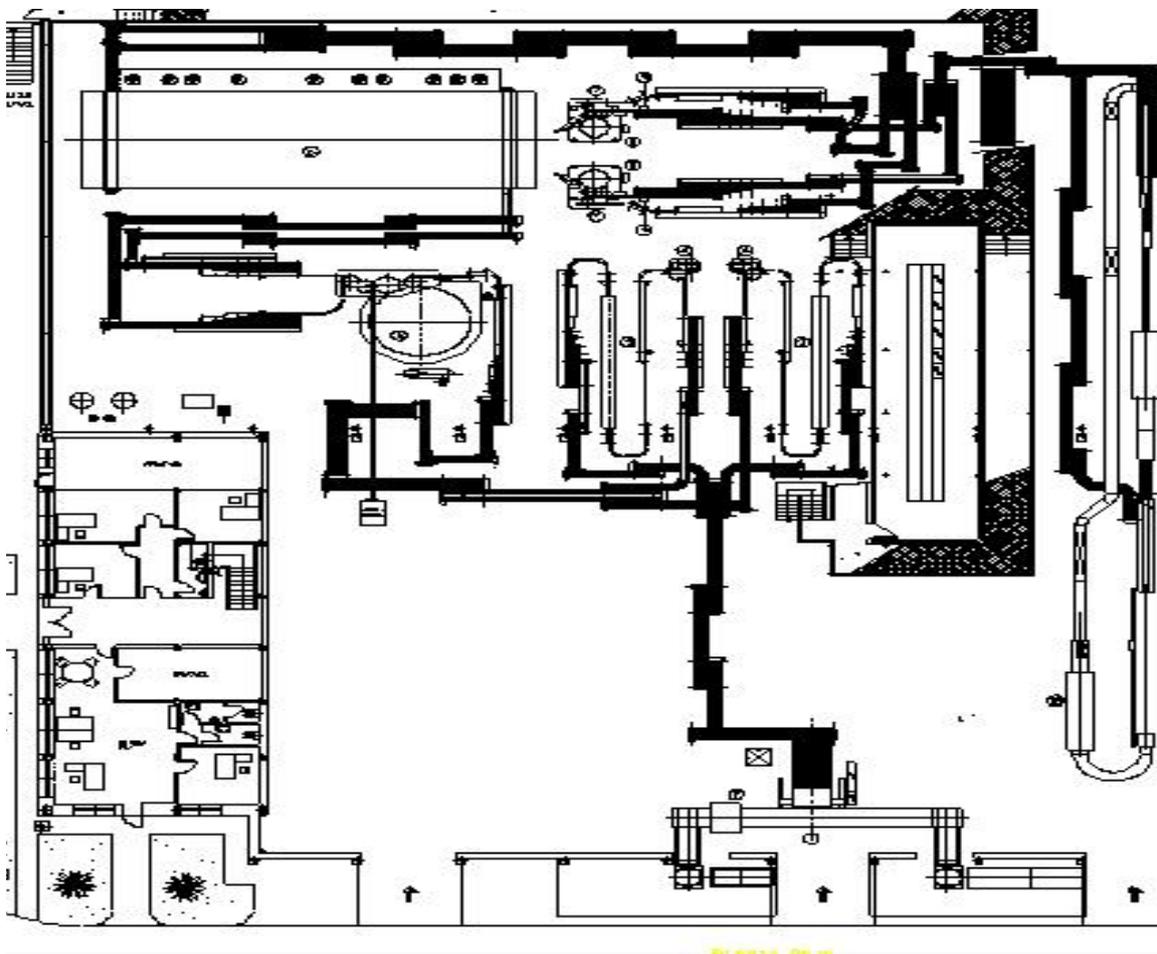


Figura 22. Línea de Envasado "Tren 5"

Capítulo 5 – Simulación en Líneas de Envasado

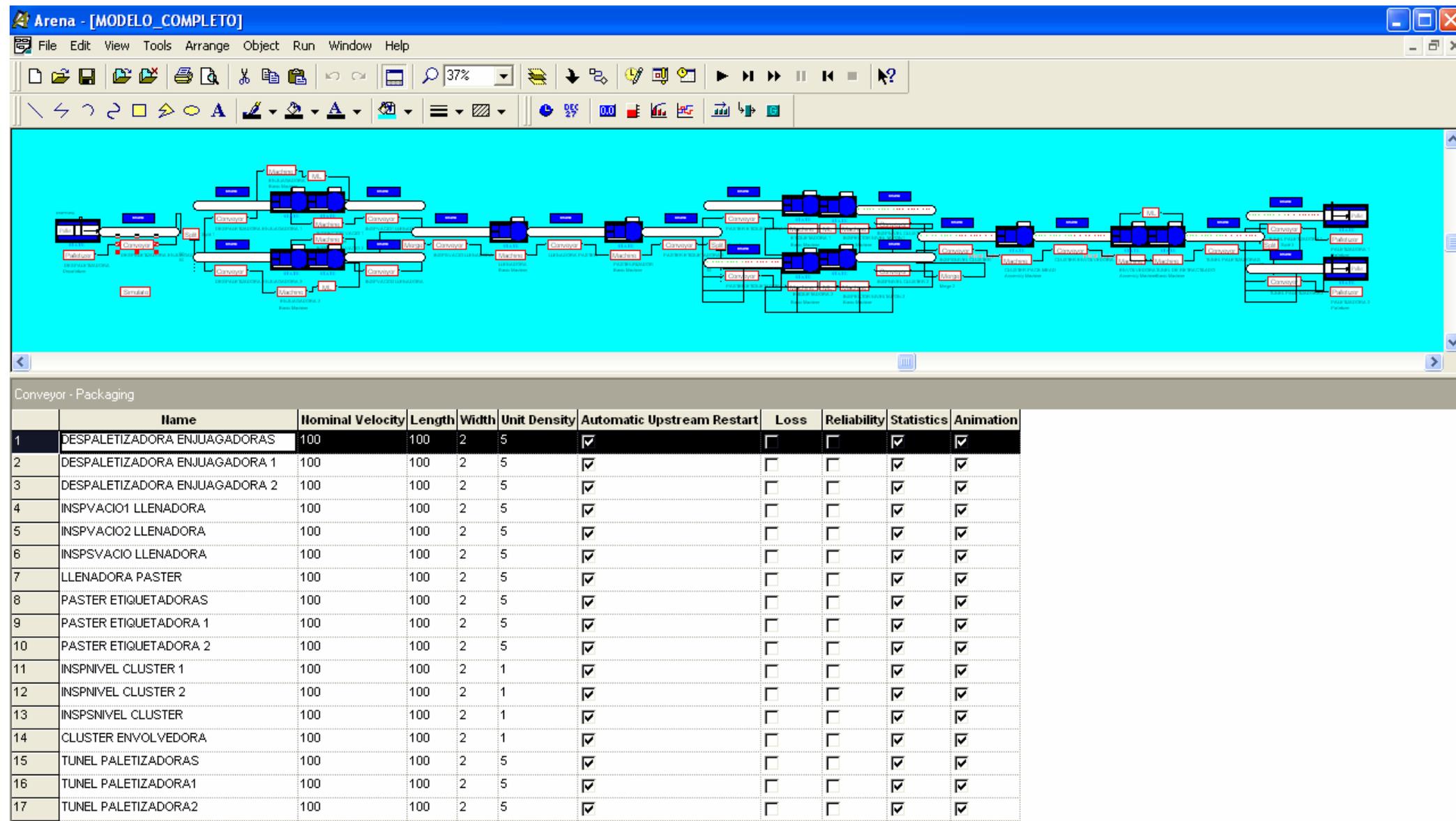


Figura 23. Modelo Arena – Descripción Conveyors (transportes)

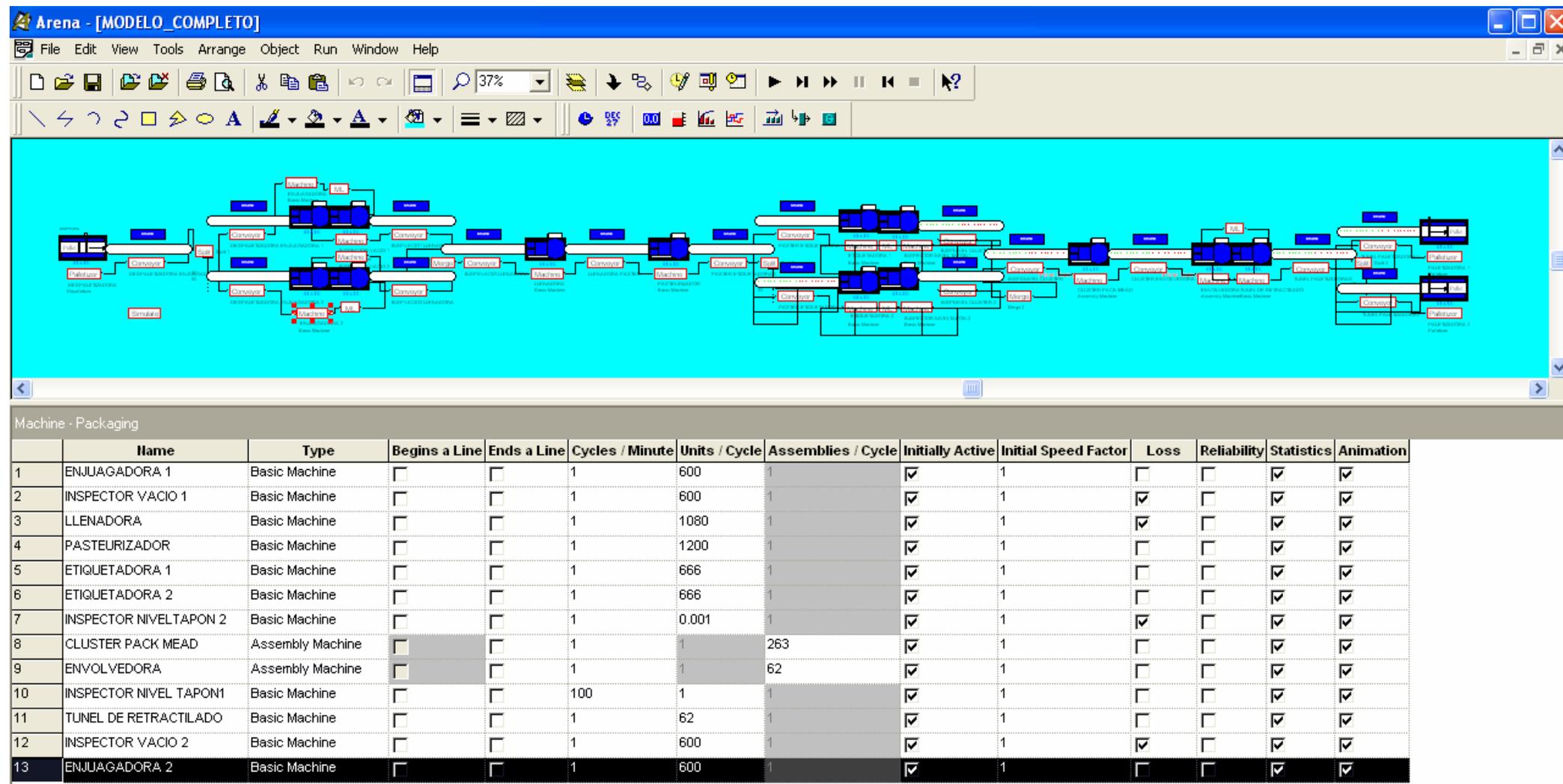


Figura 24. Modelo Arena – Descripción Machines (máquinas)

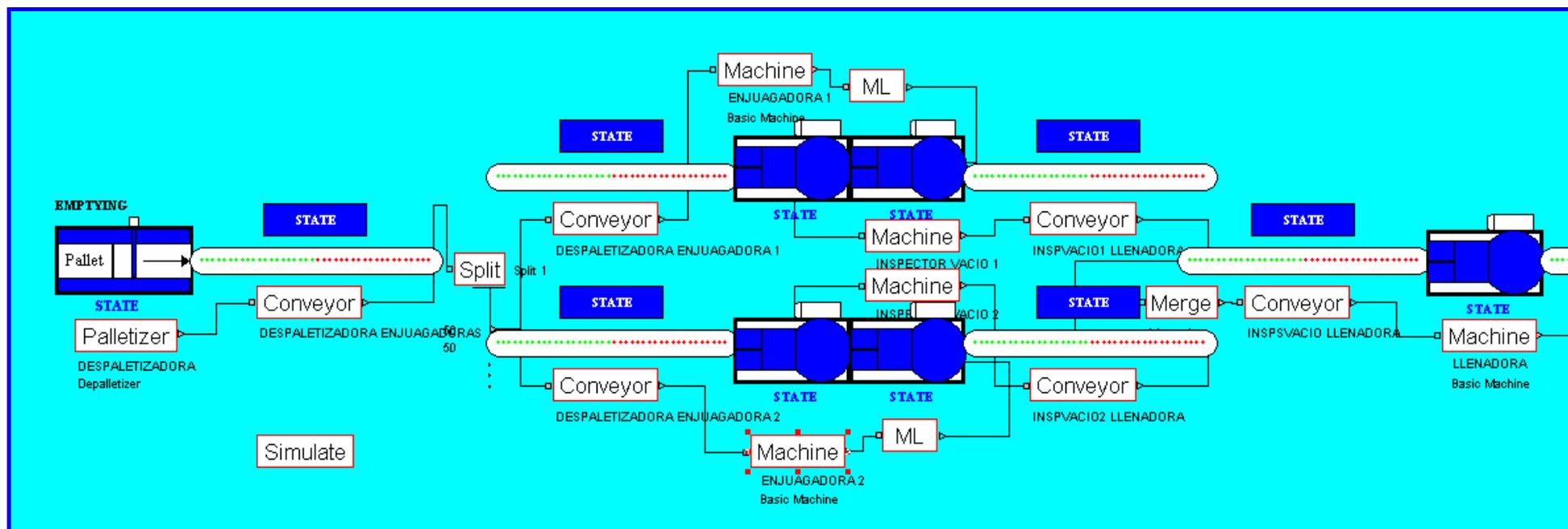


Figura 25. Modelo Arena – Primer tramo - Despaletizadora hasta Llenadora

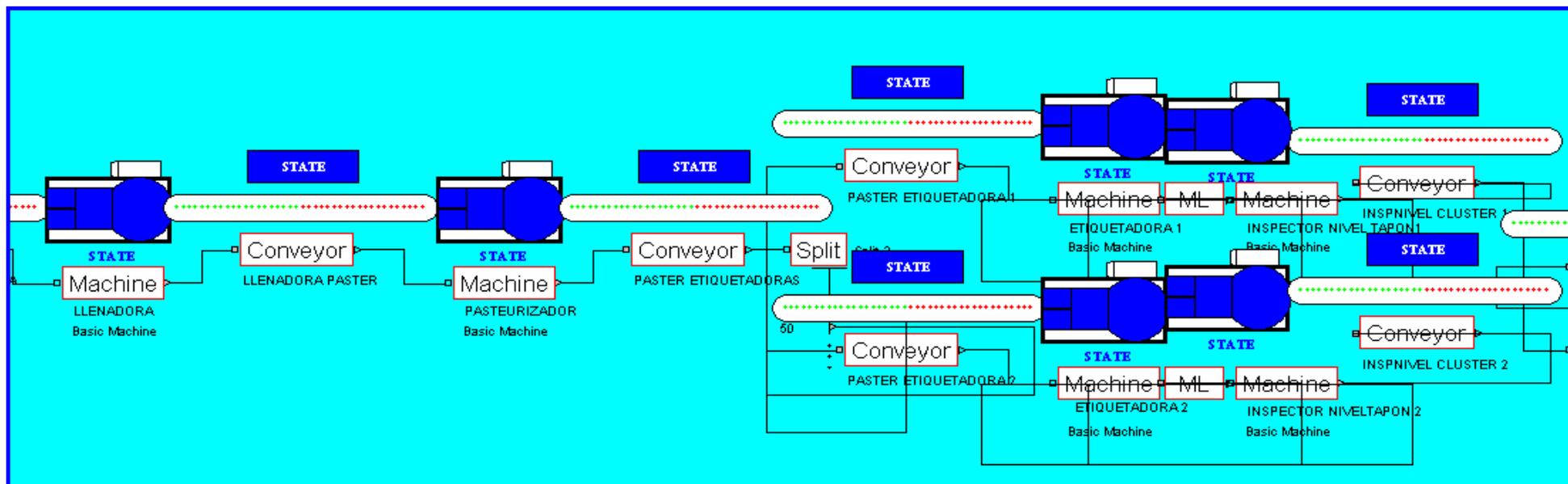


Figura 26. Modelo Arena – Segundo tramo – Llenadora hasta Inspectores de nivel

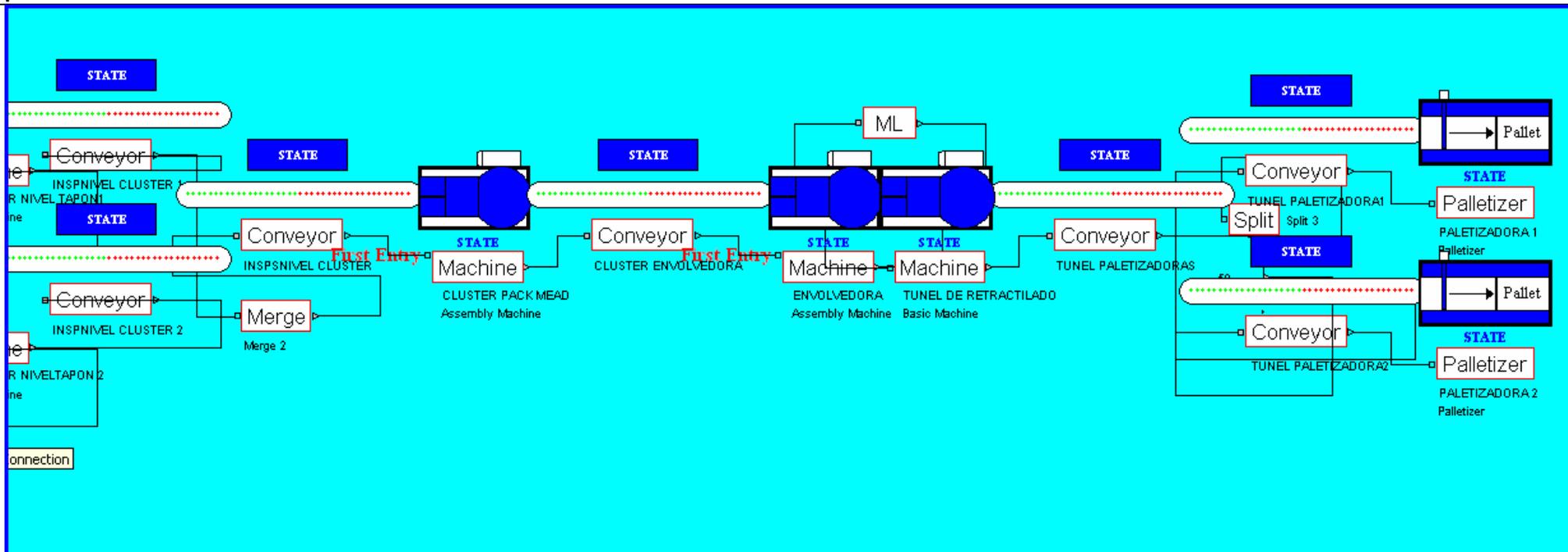


Figura 27. Modelo Arena – Tercer tramo – Inspectores de nivel hasta Paletizadoras

5.4 Recogida y Preparación de Datos

Los datos de entrada al modelo, pueden ser deterministas (no aleatorios, valores fijos) tales como capacidades, velocidades y dimensiones, ó estocásticos (aleatorios, ajustados a una distribución) tales como el MTBF (mean time beetwen failure) y el MTTR (mean time to repair), distribución de tiempo entre microparos y de su duración.

En primer lugar se especifican los parámetros del modelo a medir y sus distribuciones de probabilidad cuando aplique.

En segundo lugar, se observan los procesos del sistema y se procede a la recogida de datos.

En tercer lugar, se validarán las decisiones con los datos del sistema.

5.4.1 Mediciones Transportes

Los datos que definen los transportes en los respectivos modelos son deterministas: **ancho, largo, capacidad, densidad y velocidad.**

No se dispone de información precisa acerca de dichos parámetros, por lo que se medirán directamente en la línea de envasado.

5.4.1.1 Ancho

El ancho de los transportes se ha calculado a partir del número de cadenas que lo forman, el tipo de cadena y su dimensión.

A continuación en la tabla 5 se muestran los valores de dicho parámetro para los diferentes transportes que componen la línea.

MAQUINAS	TRANSPORTE	TIPO DE TRANSPORTE	Nº cadenas	ANCHO (cm)
DESPALETIZADORA	mesa botella	CADENA fina	18	153
	DESP-ENJ	CADENA fina	8	68
	DESP ENJ1	CADENA fina	4	34
	DESP-ENJ2	CADENA fina	4	34
ENJUAGADORAS	enjuagadoras	CADENA fina	1	8,5
	ENJ1-INSPV1	CADENA fina	1	8,5
	ENJ2-INSPV2	CADENA fina	1	8,5
INSPECTORES DE VACIO				
	INSPV1- LLEN	CADENA fina	4	34
	INSPV2- LLEN	CADENA fina	4	34
	INSPSV-LLEN-1T	CADENA fina	8	68
	INSPSV-LLEN-2T	CADENA fina	4	34
LLENADORA	llenadora	CADENA fina	1	8,5
	LLEN-PAST-H	CADENA fina	4	34
	LLEN-PAST-L	CADENA fina	4	34
	ENT- PAST-H	CADENA ancha	2	38
	ENT- PAST-L	CADENA ancha	2	38
PASTEURIZADOR				

	SAL-PAST-H	CADENA ancha	2	38
	SAL-PAST-L	CADENA ancha	2	38
	PAST-H-ETQS	CADENA fina	4	34
	PAST-L-ETQS	CADENA fina	4	34
	PAST-ETQS	CADENA fina	8	68
	PAST-ETQ1	CADENA fina	4	34
	PAST-ETQ2	CADENA fina	4	34
ETIQUETADORAS				
	ETQ1-INSPT1	CADENA fina	1	8,5
	ETQ2-INSPT2	CADENA fina	1	8,5
INSPECTORES NIVEL TAPON				
	INSPT1-EMP	CADENA fina	4	34
	INSPT2-EMP	CADENA fina	4	34
	INSPNT-EMP	CADENA fina	6	51
	MESA	CADENA fina	16	136
	INSPNT-MEAD	CADENA fina	6	51
	ENT-MEAD-IZQ	CADENA fina	3	25,5
	ENT-MEAD-DCHA	CADENA fina	3	25,5
	INSPNT-KISTERS	CADENA fina	3	25,5
CLUSTER PACK MEAD - AGRUPADORA KISTERS				
	KISTERS-PAL	RODILLO	<i>no aplica</i>	50
	KISTERS-PAL1	RODILLO	<i>no aplica</i>	50
	KISTERS-PAL2	RODILLO	<i>no aplica</i>	50
PALETIZADORAS				

* CADENA fina --> 8,5 cm

* CADENA ancha --> 19 cm

* mesa acumulación--> 16 cadenas de longitud 5 m

Tabla 6. Ancho transportes

5.4.1.2 Densidad superficial y Velocidad

➤ Cálculo capacidad superficial teórica

La superficie de contacto del envase (botella de 25cl) con el transporte es circular. El diámetro de la botella es 5,5cm.

Sabiendo que la superficie de un círculo es $\Pi D^2/4$, la superficie de contacto es 23,75 cm².

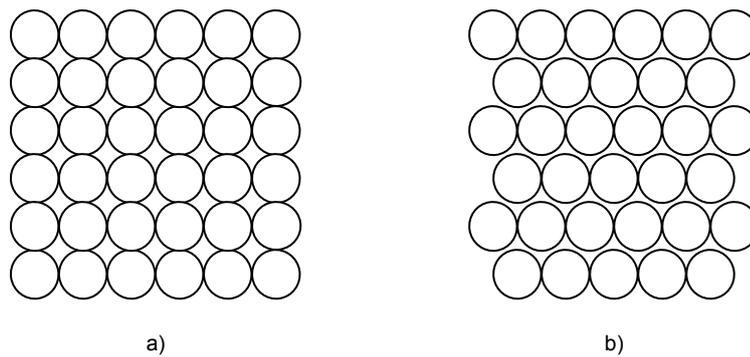


Figura 28. Disposiciones botellas en transporte

La disposición de las botellas en el transporte tiende a ser, por lo general, la mostrada en la Figura 21 b) debido a la geometría circular de la superficie de contacto; aunque también podemos encontrarlas como se muestra en la Figura 21 a).

La capacidad y densidad del transporte (bot/m^2) es similar en ambas configuraciones. Si calculamos el área desocupada en un metro cuadrado de transporte en ambas situaciones podemos comprobar que es prácticamente la misma.

Para ambas disposiciones el número de botellas por metro cuadrado de transporte lo podemos calcular como (geometría cuadrada):

$$(100\text{cm} \times 100\text{cm}) / (5,5 \text{ cm} \times 5,5 \text{ cm}) = \boxed{330,6 \text{ bot} / \text{m}^2} \text{ *Densidad superficial*}$$

Sabiendo que el ancho de una cadena fina es 8,5 cm podemos calcular la **capacidad en un metro de longitud de transporte de un número determinado de cadenas**.

Para ello vamos a definir primero la **Capacidad Transversal** del transporte como el número de botellas, filas en paralelo que se pueden formar en un transporte de un determinado número de cadenas:

- Transporte de 8 cadenas $\rightarrow (8 \times 8,5) / 5,5 = 12,36 \text{ bot} \rightarrow C_t = 12 \text{ bot}$
- Transporte de 6 cadenas $\rightarrow (6 \times 8,5) / 5,5 = 9,27 \text{ bot} \rightarrow C_t = 9 \text{ bot}$
- Transporte de 4 cadenas $\rightarrow (4 \times 8,5) / 5,5 = 6,18 \text{ bot} \rightarrow C_t = 6 \text{ bot}$
- Transporte de 1 cadenas $\rightarrow (1 \times 8,5) / 5,5 = 1,54 \text{ bot} \rightarrow C_t = 1 \text{ bot}$

La **Capacidad Lineal** por m de longitud de transporte es:

$$100 \text{ cm} / 5,5 \text{ cm} = 18,2 \text{ bot} / \text{m} \rightarrow C_L = 18 \text{ bot} / \text{m}$$

Por lo que la Capacidad superficial por metro de longitud de transporte y ancho de transporte (número de cadenas) será:

- Transporte de 8 cadenas → (12 x 18) = **216 bot / (m * ancho)**
- Transporte de 6 cadenas → (9 x 18) = **162 bot / (m * ancho)**
- Transporte de 4 cadenas → (4 x 18) = **108 bot / (m * ancho)**
- Transporte de 1 cadenas → (1 x 18) = **18 bot / (m * ancho)**

➤ **Velocidad Lineal teórica**

La velocidad lineal del transporte se puede conocer a través del tacómetro, instrumento de medida de velocidad de superficie (m/min).

La relación entre la velocidad lineal (m/min) y la velocidad del transporte en bot/h es la siguiente:

- Para una sola cadena (fila de uno) :
 - Velocidad lineal (m/min) → V_L
 - Velocidad transporte (bot/h) → V_T
 - Capacidad lineal (bot/m) → C_L
- Generalizando para transportes de un número determinado de cadenas :
 - Velocidad lineal (m/min) → V_L
 - Velocidad transporte (bot/h) → V_T
 - Capacidad lineal (bot/m) → C_L
 - Capacidad transversal → C_t

$$V_L = V_T / (C_L * 60)$$

$$V_L = V_T / (C_L * C_t * 60)$$

Despejando V_T :

$$V_T = V_L * C_L * C_t * 60$$

- Otra fórmula para el cálculo de la velocidad del transporte en botellas por unidad de tiempo es la que se presenta a continuación.

$$V_T \text{ (bot/min)} = V_L \text{ (m/min)} * \text{ancho (m)} * \text{densidad superficial (bot/m}^2\text{)}$$

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

La conversión de una velocidad a otra (velocidad en m/min y velocidad en bot/h) obviamente es la misma por ambos métodos.

Para la simulación en Arena se va a utilizar el segundo procedimiento, ya que utiliza los parámetros definidos en el modelo de simulación.

A continuación, en la tabla 6, se muestran un ejemplo de medición de velocidad lineal (m/min) de los transportes realizadas en la línea y su conversión a bot/h.

El tacómetro recoge la velocidad máxima, la mínima y el último valor tomado.

TRANSPORTE	LOCALIZACIÓN TRANSPORTE medida velocidad	velocidad (m/min)			N° cadenas	N° botellas (ancho)	velocidad (bot/h)
		ultimo	max	min			
DESP-ENJ	salida despaletizadora - bifurcación en dos	11,51	11,64	0,65	8	12	152390,88
DESP-ENJ	salida despaletizadora - bifurcación en dos	11,96	12,2	11,59	8	12	159722,4
DESP-ENJ	salida despaletizadora - bifurcación en dos	11,94	12,25	3,67	8	12	160377
DESP ENJ1	bifurcacion dcha direccion entrada enjuagadora 1	11,41	11,71	11,12	4	6	76653,66
DESP-ENJ2	bifurcacion izq direccion entrada enjuagadora 2	12,94	12,94	11,61	4	6	84705,24
DESP-ENJ2	bifurcacion izq direccion entrada enjuagadora 2	11,7	12,52	9,76	4	6	81955,92
DESP-ENJ2	bifurcacion izq direccion entrada enjuagadora 2	13,03	13,22	12,74	4	6	86538,12
	transicion zona ancha a fila de uno antes enjuagadora	3,89	4,75	3,87	1	1	5182,25
ENJ1-INSPV1	entrada enjuagadora 1 - salida inspector vacío 1	25,41	27,88	4,77	1	1	30417,08
ENJ1-INSPV1	entrada enjuagadora 1 - salida inspector vacío 1	22,73	22,85	22,07	1	1	24929,35
ENJ1-INSPV1	entrada enjuagadora 1 - salida inspector vacío 1	33,03	38,01	29,35	1	1	41468,91
ENJ1-INSPV1	entrada enjuagadora 1 - salida inspector vacío 1	12,52	12,61	12,52	1	1	13757,51
ENJ1-INSPV1	entrada enjuagadora 1 - salida inspector vacío 1	36,06	36,06	30,46	1	1	39341,46
ENJ2-INSPV2	entrada enjuagadora 2 - salida inspector vacío 2	26,02	28,9	25,87	1	1	31529,9
ENJ2-INSPV2	entrada enjuagadora 2 - salida inspector vacío 2	38,9	39,92	35,55	1	1	43552,72
ENJ2-INSPV2	entrada enjuagadora 2 - salida inspector vacío 2	36,11	36,2	35,7	1	1	39494,2
ENJ2-INSPV2	entrada enjuagadora 2 - salida inspector vacío 2	25,88	27,18	25,88	1	1	29653,38
ENJ2-INSPV2	entrada enjuagadora 2 - salida inspector vacío 2	24,9	24,9	24,11	1	1	27165,9
INSPSV-LLEN-1T	unión - dirección llenadora primer tramo	6,23	6,23	5,26	8	12	81563,16
INSPSV-LLEN-1T	unión - dirección llenadora primer tramo	6,73	6,87	5,24	8	12	89942,04
LLENADORA	entrada llenadora fila de uno	65,08	74,99	58,01	1	1	81814,09
LLENADORA	entrada llenadora fila de uno	67,65	68,03	57,84	1	1	74220,73

Tabla 7. Velocidad transportes

5.4.1.3 Capacidad

La capacidad de los transportes es desconocida a priori.

Utilizando los contadores de botellas que hay en determinadas máquinas y la posibilidad de acumular las botellas en los transportes, parándolos según proceda con sus respectivos variadores de velocidad, se han medido las capacidades respectivas.

Hay que resaltar, que dichos valores no son exactos (aunque sí aproximados y válidos para la simulación). Esto es debido a la variabilidad en la disposición de las botellas en los transportes, a la presencia de botellas caídas (ocupan un espacio mayor), a los rechazos propios de los transportes y a los rechazos de los inspectores, así como botellas rotas u otra serie de incidencias que perturban dichas mediciones.

Las capacidades han de medirse en los arranques, que es cuando se dispone del tren vacío y los contadores están a cero. Esta medición retrasa la producción de la línea ya que hay que esperar a que cada tramo de transporte se sature para medir y proseguir con el proceso de envasado.

A continuación se muestra una de las mediciones de capacidad realizadas en la línea.

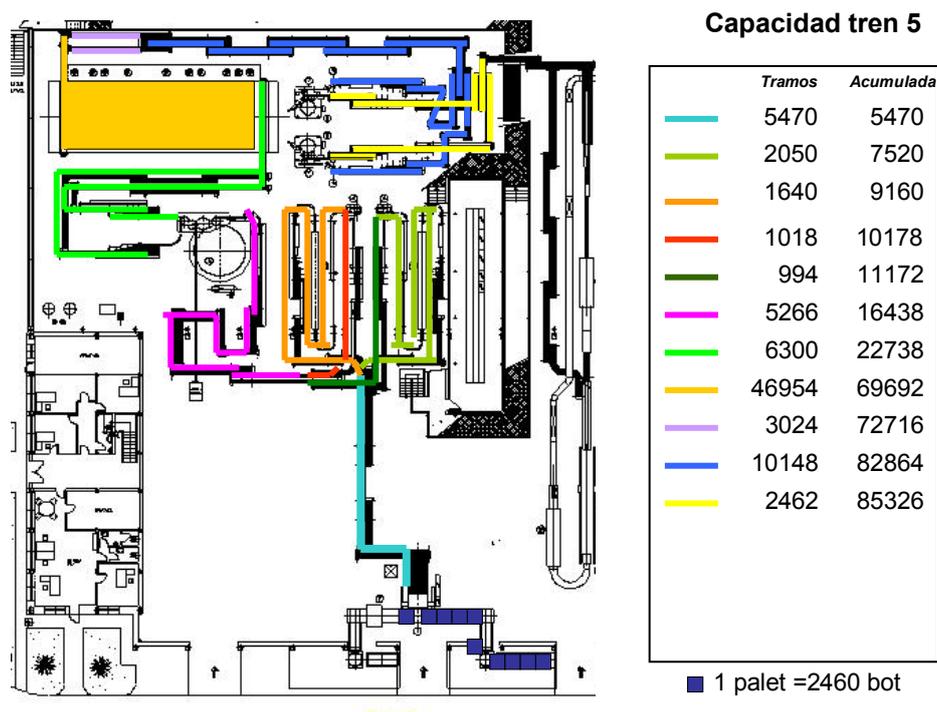


Figura 29. Capacidad transportes

➤ Capacidad teórica

Conocidas las dimensiones (ancho, largo) del transporte y la densidad de botellas podemos conocer la capacidad teórica del transporte:

$$\text{Capacidad (bot)} = \text{ancho (m)} * \text{largo (m)} * \text{densidad superficial (bot/m}^2\text{)}$$

El ancho y la densidad superficial se han calculado en los puntos anteriores; son datos fijos y constantes a lo largo de todo el transporte (el ancho no varía en cada tramo definido).

La problemática para utilizar esta fórmula para calcular la capacidad, y así evitar las mediciones (laboriosas y aproximadas para este parámetro) radica en:

- La dificultad existente para conocer la longitud de los transportes; debido a la inaccesibilidad a determinadas zonas, la gran longitud y la geometría variable (composición de tramos curvos y rectilíneos).
- La fórmula desarrollada es válida para transportes de geometría rectangular, donde la superficie de dicho transporte, se calcula como el producto del ancho*largo. Los transportes de la línea de envasado “Tren 5” constan de tramos rectos y curvos por lo que el valor exacto de su superficie difiere al calculado por este procedimiento.

5.4.1.4 Largo

Vista la problemática para conocer la longitud de los transportes, se puede calcular un **largo teórico** a partir de la fórmula anterior, conocidos el resto de parámetros de la fórmula.

* **largo teórico** → largo que tendría un transporte hipotético de geometría rectangular, de igual ancho, capacidad y densidad al transporte real de la línea (geometría variable).

5.4.2 Mediciones Máquinas

Los parámetros deterministas que definen las máquinas en los respectivos modelos son: **velocidad (bot/min)** y **rechazos (%)**.

Los parámetros estocásticos que vamos a contemplar en el modelo de simulación son : **MTBF** (distribución de tiempo entre microparos) y **MTTR** (distribución de tiempo de duración de microparos).

Los datos técnicos de las máquinas de la línea de envasado “Tren 5” se muestran a continuación en la tabla 7.

LÍNEA	TIPO MAQUINA	MARCA	MODELO	Nº PLACA	AÑO	VELOCIDAD
5	ALMACEN PALET BUENO	SEITZ ENZINGER NOLL	MAG	3294930501	1990	
5	ETIQUETADORA PALETS	MD	LABEL PACK ROBOT II	677	2001	80 PALET/H 95000
5	CLUSTER PACK CODIFICADOR CLUSTER	MEAD PACKAGING	CP 850	399	1995	BOT/H
5	CODIFICADOR PAQUETES	VIDEO JET	EXCEL 170i UHS	IU94K11025		
5	CODIFICADOR BOTELLAS	VIDEO JET	EXCEL 100	521421004WD		
5	CODIFICADOR BOTELLAS	VIDEO JET	EXCEL 170i UHS	IU94K11020		
5	DESPAL. BOTELLA	VIDEO JET SEITZ ENZINGER NOLL	LORD SEN VA	329493-01/01	1990	65800 BOT/H
5	ENJUAGADORA	PROCOMAT TWISTAR	1 R 75.500	P 1614	1990	37000 BOT/H
5	ENJUAGADORA	PROCOMAT TWISTAR	1 R 75.500	P 1632	1990	37000 BOT/H
5	ENVOLVEDOR PALETS	IMPROPACK	ROTOR JET IPP 606	875	1995	60 PALET/H 90000
5	ENVOLVEDORA	KISTERS	197/60 SOLOMATIC 40.8.6/130	901406	1990	BOT/H 40000
5	ETIQUETADORA	KRONES	B(R) SOLOMATIC 40.8.6/130	K18.C08	1990	BOT/H 40000
5	ETIQUETADORA	KRONES	B(R)	K18.C09	1990	BOT/H 36000
5	INSP. BOTELLA VACIA	KRONES	71121	711344	1990	BOT/H 36000
5	INSP. BOTELLA VACIA	KRONES	71121	711345	1990	BOT/H 42000
5	INSP. NIVEL/TAPON	KRONES	STRATEC. 150	7154	1989	BOT/H 42000
5	INSP. NIVEL/TAPON	KRONES	STRATEC. 150	7170	1989	BOT/H 65000
5	LLENADORA	KRONES	VK 2VCF 156/KK 26-87	131.485	1990	BOT/H 48000
5	PALETIZADOR	SEITZ ENZINGER NOLL	LORD VB 500	3294930401	1990	BOT/H 48000
5	PALETIZADOR	SEITZ ENZINGER NOLL	LORD VB 500	3294930403	1990	BOT/H 72000
5	PASTEURIZADOR	HOLSTEIN & KAPPERT	PIIS/55.170	388	1990	BOT/H

Tabla 8. Datos Técnicos Máquinas “Tren 5”

➤ **Mediciones de Microparos y Pérdidas de Velocidad en Trenes de Envasado**

• **Método de Medición**

Se medirán el máximo número de máquinas del tren, y como mínimo Llenadoras, Inspectores de botellas vacías, Etiquetadoras, Paletizadora y Despaletizadora, Desencajonadora (en retornable), Máquinas de empaquetado (encajonadora, agrupadora) y Lavadora de botellas.

Aunque una persona puede medir varias máquinas, para cada máquina se debe rellenar un formato de medición.

El tiempo mínimo de medición será de una hora. Si durante la misma se produjese alguna avería de duración mayor de 5-10 minutos se debería anular la medición.

Durante la medición, las máquinas deberán funcionar a su velocidad nominal, para que no influya la pérdida de velocidad en el valor de microparos.

Para comparar mediciones es necesario realizarlas cuando el Tren funcione con el mismo tipo de formato medido anteriormente.

Formato de Medición

Datos a rellenar antes de medición **Datos a rellenar después de medición**

Fecha medición: _____		Hora Comienzo: _____		Hora Fin: _____		
Máquina: _____						
Nº BOTELLAS/CAJAS INICIAL: (Si tiene contador)			Nº BOTELLAS/CAJAS FINAL: (Si tiene contador)			
Nº RECHAZOS INICIAL: (Si tiene contador)			Nº RECHAZOS FINAL: (Si tiene contador)			
VELOCIDAD FIJADA EN LA MÁQUINA: (Si tiene variador)			VELOCIDAD FIJADA EN LA MÁQUINA (Si tiene variador)			
Minutos:	Falta de botellas:	Acumulación salida:	MICROPAROS			Observaciones:
			Entrada:	Salida:	Propia:	
1						
2						
3						
4						

Rellenar el tiempo de máquina parada por falta de botellas/cajas/palet durante el primer minuto de medición
Rellenar el tiempo de máquina parada por botellas/cajas/palet a la salida durante el primer minuto de medición
Rellenar el tiempo de máquina parada por Microparos en la entrada, salida ó interior de máquina durante el primer minuto de medición
Rellenar motivo de la parada si procede

Hasta 60 min

Figura 30. Formato de Medición

• **Cálculo de datos una vez finalizada la Medición**

Para cada máquina, en la que se ha realizado medición, se calculan los siguientes datos:

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

1. Número de botellas que han pasado (utilizar datos de contadores): Ej. 34.075 bot
2. Velocidad real a la que ha ido la máquina (pasar a botellas/horas): Ej. 50.000 bot/h
3. Número de botellas rechazadas (utilizar datos de contadores): Ej. 120 botellas
4. Tiempo de Falta de botellas (en minutos): Ejemplo 2 minutos
5. Tiempo de Acumulación a la salida (en minutos): Ejemplo 5 minutos
6. Tiempo de microparos:
 - Entrada (en minutos): Ejemplo 2 minutos
 - Salida (en minutos): Ejemplo 1 minutos
 - Propio de la máquina (en minutos): Ejemplo 2 minutos

Con esta primera información se puede hacer ya un primer análisis de que máquinas han parado el Tren.

Introducir datos en el sistema: Ver que ha pasado

Medición	MINUTOS			microparos				Acumulado en salida	falta botellas	VELOCIDAD FUNCIONAM	ACUMULADO SALIDA	FALTA BOTELLAS	MICROPAROS	RECHAZOS	PERDIDA VELOCIDAD	OTRAS PERDIDAS
	botellas	veloc real	rechazo	ent	prop	sal	total									
desp	75000	145000	145000	3	4,5		7,5	8		75000	26583,3	4833,3	2900,0	0,0	0,0	35683,3
desenc	75000	140000	140000		1,2		1,2	11	2	75000	25666,7	4666,7	2800,0	0,0	0,0	31866,7
lav	79572	130000	115000		4,5		4,5	8,7		79572	16675,0	0,0	8625,0	0,0	15000,0	10128,0
insp1	40500	53000	50000	1,4	4	3,4	8,8		0,2	40500	0,0	166,7	7333,3	0,0	3000,0	2000,0
insp2	34400	53000	50000		1,2		1,2	8		34400	6666,7	0,0	1000,0	0,0	3000,0	7933,3
llen1	39000	50000	50000	0,2			0,2		8	39000	0,0	6666,7	166,7	0,0	0,0	4166,7
llen2	33600	50000	50000	10,5	1,1	2,3	13,9		0,5	33600	0,0	416,7	11583,3	0,0	0,0	4400,0
etr1	34075	50000	50000	120	5,8		5,8	3		34075	2500,0	0,0	4833,3	140,6	0,0	8451,0
eti2	33350	50000	50000	6	0,8		6,8	3,2		33350	2666,7	0,0	5666,7	220,8	0,0	8095,9
enc	72360	140000	140000	11			11,0	0,8		72360	1866,7	0,0	25666,7	0,0	0,0	40106,7
pale	73440	145000	145000	2			2,0		5,2	73440	0,0	12566,7	4833,3	0,0	0,0	54160,0

Velocidad real (según variador)

BOTELLAS REALIZADAS (Si son cajas ó palets, hay que pasarlo a botellas)

MINUTOS

UNIDADES

MINUTOS

NO HAY QUE RELLENARLO
SE METEN DATOS DE LA MEDICIÓN
SE METEN DATOS UNA VEZ

Figura 31. Plantilla Resultados

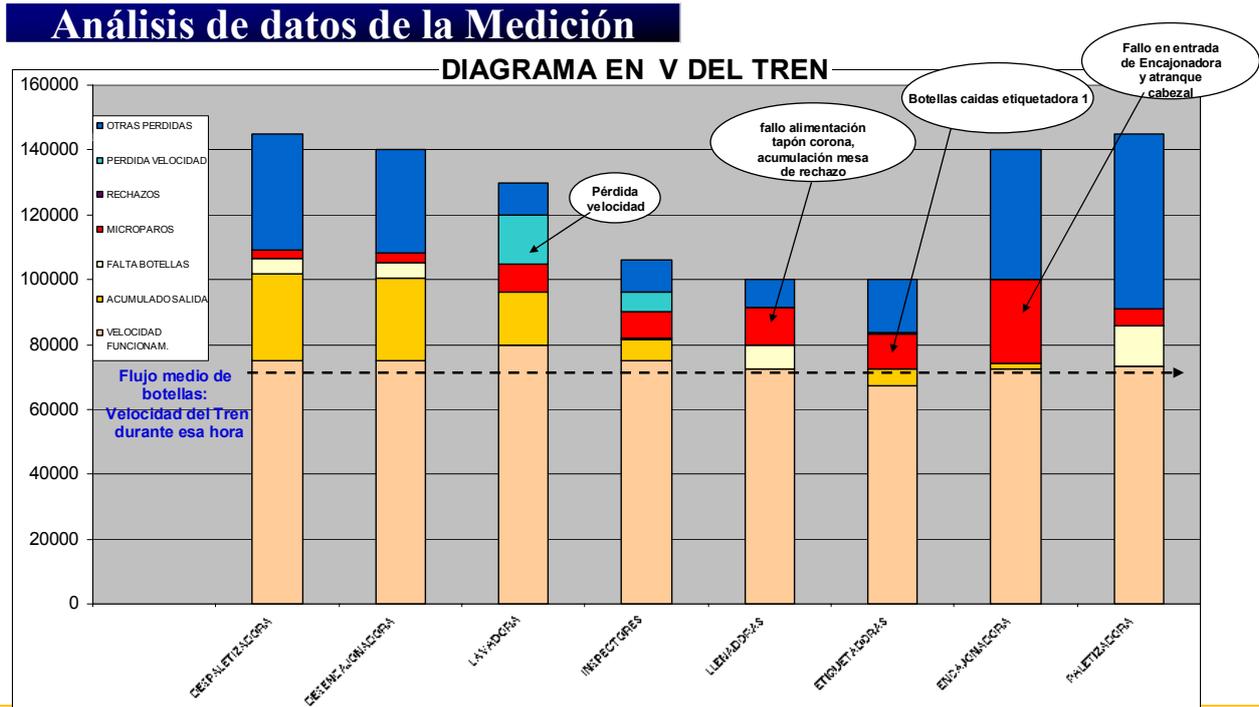


Figura 32. Gráfico Análisis de la Medición

Ejemplos de este tipo de mediciones se pueden ver en las tablas y gráficos 12 y 13 presentados al final de este punto (5.4.2).

5.4.2.1 Velocidad

La velocidad nominal de las máquinas es conocida, pero no todas trabajan a su velocidad de diseño. Existen Pérdidas de Velocidad.

El dato de la velocidad se puede tomar directamente del cuadro de control de las máquinas; salvo en las paletizadoras y despaletizadora que se medirá con el cronómetro.

A continuación se muestran datos de mediciones referentes a las velocidades de las diferentes tipos de máquinas.

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

MAQUINA	VELOCIDAD (bot/min)	VELOCIDAD (bot/h)	VELOCIDAD NOMINAL (bot/h)
ENJUAGADORA 1	583	35000	35000
ENJUAGADORA 2	583	35000	35000
INSPECTOR VACIO 1	583	35000	35000
INSPECTOR VACIO 2	583	35000	35000
LLENADORA TAPONADORA	1013	60800	65000
PASTEURIZADOR	1200	72000	72000
ETIQUETADORA 1	583	35000	40000
ETIQUETADORA 2	583	35000	40000
INSPECTOR NIVEL TAPON 1	583	35000	40000
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	583	35000	40000

Tabla 9. Velocidad máquinas simple

MAQUINA	VELOCIDAD packs, cajas/min	VELOCIDAD packs, cajas/h	VELOCIDAD bot/h	VELOC NOMINAL bot/h
CLUSTER PACK MEAD ENVOLVEDORA	185	11100	66600	72000
KISTERS	52	3120	74880	90000

Tabla 10. Velocidad máquina conjunto

MAQUINA	bot, cajas/fila	filas/palet	bot, cajas/palet	VELOCIDAD filas/min	TIEMPO ENTRE PALETS (min)	VELOCIDAD bot/h	VELOC NOMINAL bot/h
DESPALETIZADORA	410	6	2460	3	0,2	66420	65800
PALETIZADORA 1	11	7	77	2,14	1	29439	48000
PALETIZADORA 2	11	7	77	2,14	1	29439	48000

Tabla 11. Velocidad máquinas des/paletizadora

5.4.2.2 Rechazos

Las únicas máquinas que tienen rechazos de botellas son los inspectores y la Llenadora. El rechazo se mide en % y su valor, es variable lógicamente de unos turnos a otros, pero en condiciones normales de funcionamiento tiene poca variabilidad por lo que lo vamos a considerar como un parámetro determinista.

5.4.2.3 MTBF, MTTR y otras pérdidas.

- MTBF (Mean Time Between Failure) → El tiempo medio entre microparos se comporta como una distribución exponencial. La media y varianza de la distribución se obtienen a partir de los valores obtenidos de MTBF en las diferentes mediciones realizadas en la línea.
- MTTR (Mean Time To Repair) → La duración del microparo se comporta como una distribución uniforme; y los valores que la caracterizan se definirán también, a partir de las mediciones realizadas en la línea de MTTR en cada una de las máquinas.

A continuación se muestran algunas de las mediciones realizadas de microparos, rechazos y otras pérdidas significativas en la línea.

Capítulo 5 – Simulación en Líneas de Envasado

TREN	5
FECHA	14/03/2006
HORA DE COMIENZO	9:15

tiempo de medición (minutos)	60
------------------------------	----

MÁQUINAS	botellas	velocidad teórica de diseño (bot/h)	velocidad fijada (bot/h)	velocidad real de funcionamiento (bot/h)	botellas rechazadas	rechazo (eq. minutos)	MICROPAROS (minutos)				número de microparos	PAROS (minutos)	
							a la entrada	en la propia máquina	a la salida	tiempo total microparos		por acumulación en salida	por falta de botellas
DESPALETIZADORA	32945	65800	65800	32945		0,0				0,0		30,0	
INSPECTORES	32645	72000	72000	32645		0,0				0,0		32,8	
LLENADORA	32945	65000	60800	32945	1	0,0	0,0	18,0	0,0	18,0	1	10,0	
ETIQUETADORAS	39500	80000	70000	39500	0	0,0	0,8	0,5		1,3	6	20,0	
MEAD	39540	72000	67300	39540	0	0,0	5,8	0,3	8,2	14,2	18	3,7	2,5
KISTERS	39540	90000	74880	39540	20	0,0	7,0	10,0	0,0	17,0	8	4,0	0,0
PALETIZADORA	36168	96000	96000	36168		0,0		2,2		2,2	0		22,8

MÁQUINAS	VELOCIDAD REAL DE FUNCIONAMIENTO (bot / h)	PÉRDIDAS (botellas / hora)					
		PÉRDIDAS POR ACUMULACIÓN A LA SALIDA	PÉRDIDAS POR FALTA DE BOTELLAS	PÉRDIDAS POR MICROPAROS DE LA MÁQUINA	PÉRDIDAS POR RECHAZOS	PÉRDIDAS DE VELOCIDAD	OTRAS PÉRDIDAS
DESPALETIZADORA	32945	32845,2	0,0	0,0	0,0	0	9,8
INSPECTORES	32645	39372,0	0,0	0,0	0,0	0	-17,0
LLENADORA	32945	10133,3	0,0	18240,0	1,0	4200	-519,3
ETIQUETADORAS	39500	23333,3	0,0	1516,7	0,0	10000	5650,0
MEAD	39540	4094,1	2748,1	15927,7	0,0	4700	4990,2
KISTERS	39540	4992,0	0,0	21216,0	20,0	15120	9112,0
PALETIZADORA	36168	0,0	36400,0	3440,0	0,0	0	19992,0

Tabla 12. Medición "Tren 5" 14/03/06

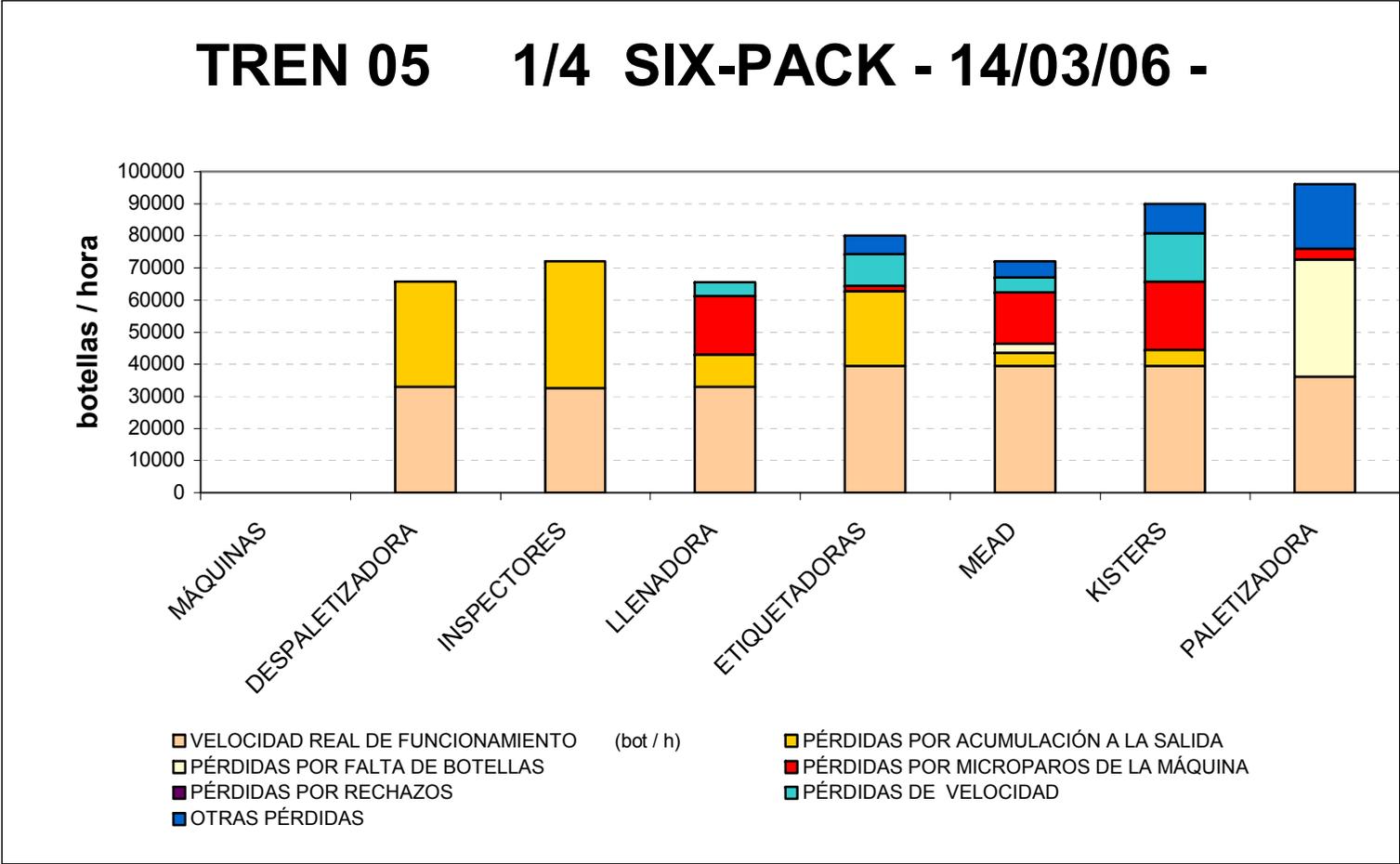


Figura 33. Gráfico Tabla 12. Medición “Tren 5” 14/03/06

Capítulo 5 – Simulación en Líneas de Envasado

TREN	5
FECHA	26/10/2005
HORA DE COMIENZO	12:15

tiempo de medición (minutos)	60
------------------------------	----

MÁQUINAS	botellas	velocidad teórica de diseño (bot/h)	velocidad fijada (bot/h)	velocidad real de funcionamiento (bot/h)	botellas rechazadas	rechazo (eq. minutos)	MICROPAROS (minutos)				número de microparos	PAROS (minutos)	
							a la entrada	en la propia máquina	a la salida	tiempo total microparos		por acumulación en salida	por falta de botellas
DESPALETIZADORA	54105	65800	65800	54105	0	0,0		1,0	0,6	1,6	1	3,6	
INSPECTORES													
LLENADORA	54105	65000	63000	54105	0	0,0		9,0		8,5	2	0,0	
ETIQUETADORAS	54105	80000	70000	54105	0	0,0	1,0	1,0		2,0	0		5,5
KISTERS	54912	90000	77760	54912	0	0,0	0,5	0,9	0,5	1,9	0		0,0
PALETIZADORA	54912	96000	96000	54912	0	0,0				0,0	0		0,7

MÁQUINAS	PÉRDIDAS (botellas / hora)						
	VELOCIDAD REAL DE FUNCIONAMIENTO (bot / h)	PÉRDIDAS POR ACUMULACIÓN A LA SALIDA	PÉRDIDAS POR FALTA DE BOTELLAS	PÉRDIDAS POR MICROPAROS DE LA MÁQUINA	PÉRDIDAS POR RECHAZOS	PÉRDIDAS DE VELOCIDAD	OTRAS PÉRDIDAS
DESPALETIZADORA	54105	3929,7	0,0	1754,7	0,0	0	6010,6
INSPECTORES							
LLENADORA	54105	0,0	0,0	8893,5	0,0	2000	1,5
ETIQUETADORAS	54105	0,0	6416,7	2333,3	0,0	10000	7145,0
KISTERS	54912	0,0	0,0	2419,2	0,0	12240	20428,8
PALETIZADORA	54912	0,0	1066,7	0,0	0,0	0	40021,3

*Observación --> El inspector no se midió

Tabla 13. Medición "Tren 5" 26/10/05

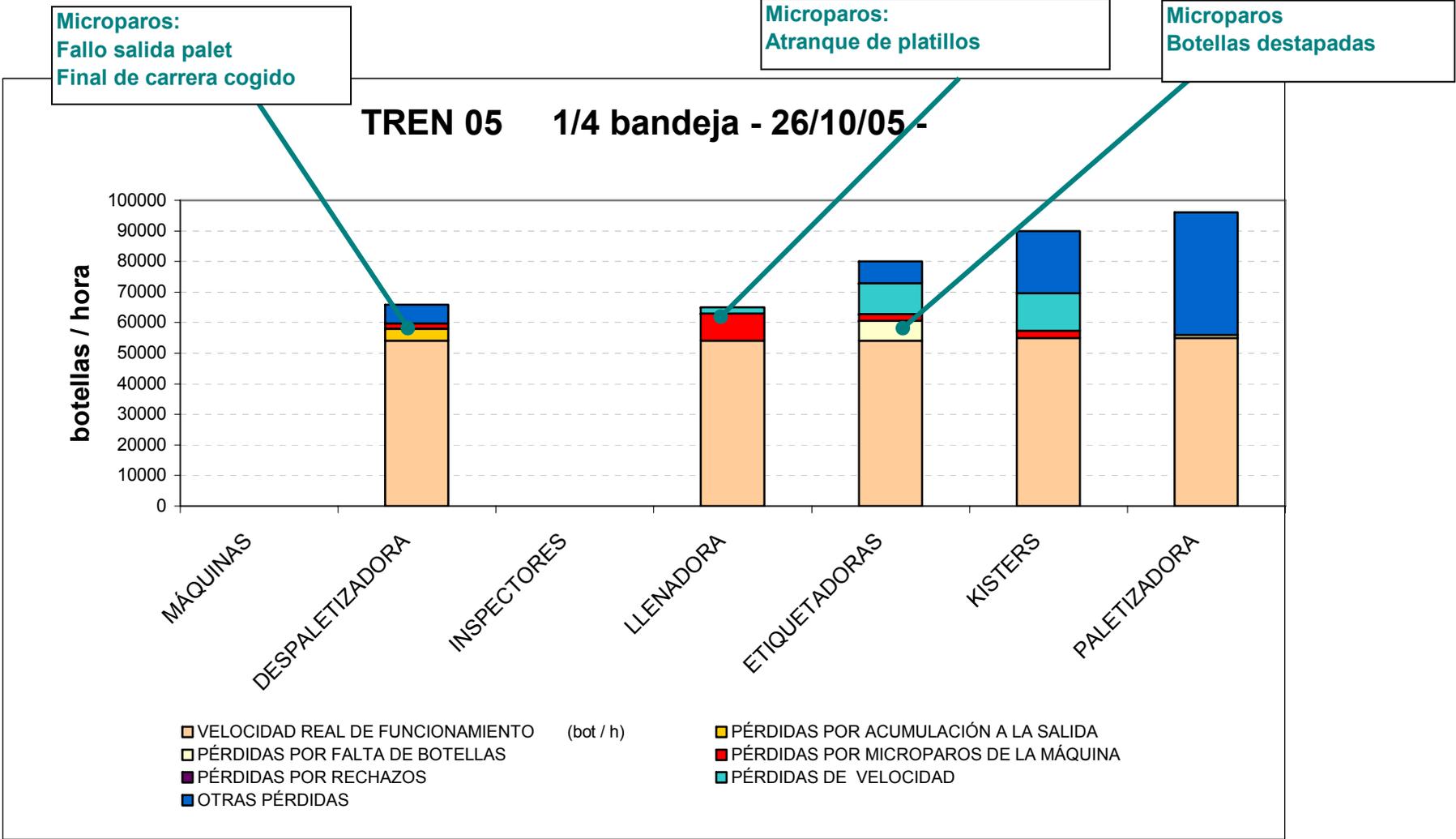


Figura 34. Gráfico Tabla 13. Medición “Tren 5” 26/10/05

5.5 Pruebas y validación del modelo de simulación

Todo modelo de simulación ha de ser validado.

La validación consiste en comprobar que el comportamiento del modelo tras la simulación es semejante, con un mayor o menor grado de precisión, al sistema real analizado.

Cuando el modelo es complejo se puede calibrar en varios pasos descomponiendo el modelo completo en submodelos y validando cada uno de ellos de manera independiente. De esta forma, en caso de obtener resultados insatisfactorios será más fácil detectar el fallo.

Se comienza recogiendo la muestra de datos a meter en el modelo y los resultados reales obtenidos. Se meten los valores de los parámetros medidos en el modelo y se realizan las simulaciones pertinentes. Posteriormente, se procede a la comparación entre los resultados estadísticos obtenidos mediante simulación y los reales.

➤ Razones para obtener resultados insatisfactorios:

- Insuficiente entrenamiento, formación
- Objetivos no claros
- Demasiados detalles
- Una única carrera de simulación
- Falta de interacción

Cuando los resultados son insatisfactorios, se localiza y resuelve el problema, y se procede de nuevo a la simulación y validación del modelo.

A continuación se muestran una prueba de datos referentes a la recogida y preparación de datos metidos en el modelo y los resultados obtenidos tras la simulación.

➤ Parámetros de entrada:

Palletizer - Packaging						
	Name	Type	Units / Layer	Nom. Run Speed	Layers / Pallet	Time Btw. Pallets
1	DESPALETIZADORA	Depalletizer	410	3	6	0.2
2	PALETIZADORA 1	Palletizer	11	2.5	7	1
3	PALETIZADORA 2	Palletizer	11	2.5	7	1

Figura 35. Des/Paletizadora – Prueba modelo

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

Machine - Packaging						
	Name	Type	Cycles / Minute	Units / Cycle	Assemblies / Cycle	Loss
1	ENJUAGADORA 1	Basic Machine	600	1	1	<input type="checkbox"/>
2	INSPECTOR VACIO 1	Basic Machine	600	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>
3	LLENADORA	Basic Machine	1080	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>
4	PASTEURIZADOR	Basic Machine	1200	1	1	<input type="checkbox"/>
5	ETIQUETADORA 1	Basic Machine	666	1	1	<input type="checkbox"/>
6	ETIQUETADORA 2	Basic Machine	666	1	1	<input type="checkbox"/>
7	INSPECTOR NIVEL TAPON 2	Basic Machine	666	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>
8	CLUSTER PACK MEAD	Assembly Machine	263	1	1	<input type="checkbox"/>
9	KISTERS	Assembly Machine	62	1	1	<input type="checkbox"/>
10	INSPECTOR NIVEL TAPON1	Basic Machine	666	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>
11	INSPECTOR VACIO 2	Basic Machine	600	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>
12	ENJUAGADORA 2	Basic Machine	600	1	1	<input type="checkbox"/>

Figura 36. Máquinas – Prueba modelo

Conveyor - Packaging					
	Name	Nominal Velocity	Length	Width	Unit Density
1	DESPALETIZADORA ENJUAGADORAS	12.25	24	0.68	330
2	DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 1	13.22	18	0.34	330
3	DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 2	13.22	15	0.34	330
4	INSPVACIO1 LLENADORA	13.74	9	0.34	330
5	INSPVACIO2 LLENADORA	13.74	9	0.34	330
6	INSPSVACIO LLENADORA	6.87	31	0.51	330
7	LLENADORA PASTER	13	28	0.68	330
8	PASTER ETIQUETADORAS	13.5	45	0.68	330
9	PASTER ETIQUETADORA 1	14.15	13	0.34	330
10	PASTER ETIQUETADORA 2	14.15	13	0.34	330
11	INSPNIVEL CLUSTER 1	14.75	11	0.34	330
12	INSPNIVEL CLUSTER 2	14.75	11	0.34	330
13	INSPSNIVEL CLUSTER	15	18	0.51	330
14	CLUSTER KISTERS	14.5	1	0.40	3
15	KISTERS PALETIZADORAS	14.5	25	0.40	3
16	KISTERS PALETIZADORA1	14.5	12	0.40	3
17	KISTERS PALETIZADORA2	14.5	12	0.40	3

Figura 37. Transportes – Prueba modelo

➤ **Resultados de la simulación de prueba y verificación:**

Tren 5

Transportes

- **Capacidad (unidades)**

CLUSTER KISTERS	1.2000
DESPALETIZADORA	2019.6000
ENJUAGADORA 1	
DESPALETIZADORA	1683.0000
ENJUAGADORA 2	
DESPALETIZADORA	5385.6000
ENJUAGADORAS	
INSPNIVEL CLUSTER 1	1234.2000
INSPNIVEL CLUSTER 2	1234.2000
INSPSNIVEL CLUSTER	3029.4000
INSPSVACIO LLENADORA	5217.3000
INSPVACIO1 LLENADORA	1009.8000
INSPVACIO2 LLENADORA	1009.8000
KISTERS PALETIZADORA1	14.4000
KISTERS PALETIZADORA2	14.4000
KISTERS PALETIZADORAS	30.0000
LLENADORA PASTER	6283.2000
PASTER ETIQUETADORA 1	1458.6000
PASTER ETIQUETADORA 2	1458.6000
PASTER ETIQUETADORAS	10098.0000

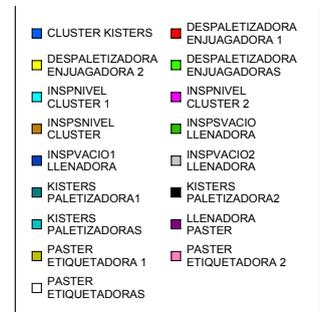
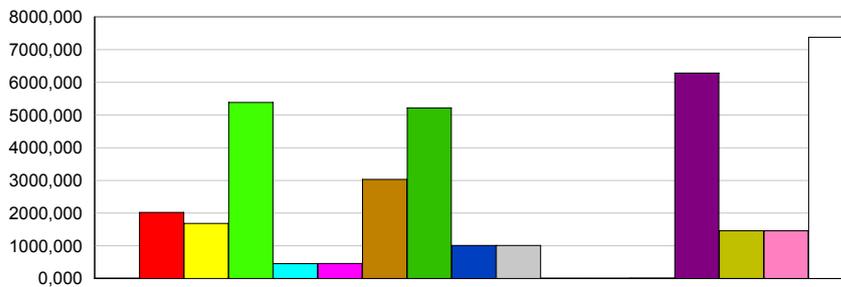
- **Velocidad (unidades/hora)**

CLUSTER KISTERS	1044.0000
DESPALETIZADORA	88997.0400
ENJUAGADORA 1	
DESPALETIZADORA	88997.0400
ENJUAGADORA 2	
DESPALETIZADORA	164934.0000
ENJUAGADORAS	
INSPNIVEL CLUSTER 1	99297.0000
INSPNIVEL CLUSTER 2	99297.0000
INSPSNIVEL CLUSTER	151470.0000
INSPSVACIO LLENADORA	69373.2600
INSPVACIO1 LLENADORA	92497.6800
INSPVACIO2 LLENADORA	92497.6800
KISTERS PALETIZADORA1	1044.0000
KISTERS PALETIZADORA2	1044.0000
KISTERS PALETIZADORAS	1044.0000
LLENADORA PASTER	175032.0000
PASTER ETIQUETADORA 1	95257.8000
PASTER ETIQUETADORA 2	95257.8000
PASTER ETIQUETADORAS	181764.0000

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

- Unidades dentro

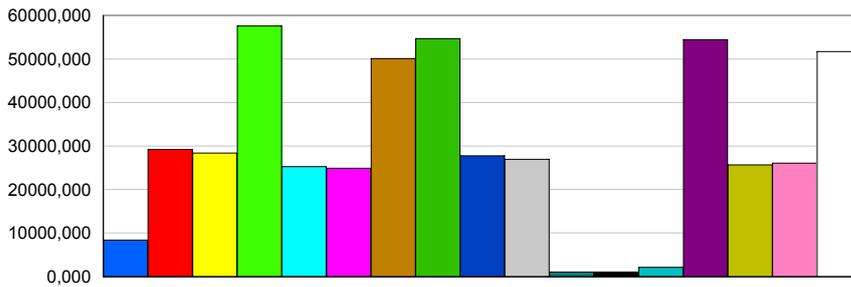
CLUSTER KISTERS	1.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 1	2020.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 2	1683.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORAS	5386.0000
INSPNIVEL CLUSTER 1	454.0000
INSPNIVEL CLUSTER 2	457.0000
INSPSNIVEL CLUSTER	3029.0000
INSPSVACIO LLENADORA	5217.0000
INSPVACIO1 LLENADORA	1010.0000
INSPVACIO2 LLENADORA	1010.0000
KISTERS PALETIZADORA1	2.0000
KISTERS PALETIZADORA2	2.0000
KISTERS PALETIZADORAS	7.0000
LLENADORA PASTER	6283.0000
PASTER ETIQUETADORA 1	1459.0000
PASTER ETIQUETADORA 2	1459.0000
PASTER ETIQUETADORAS	7377.0000



- Total Unidades transportadas

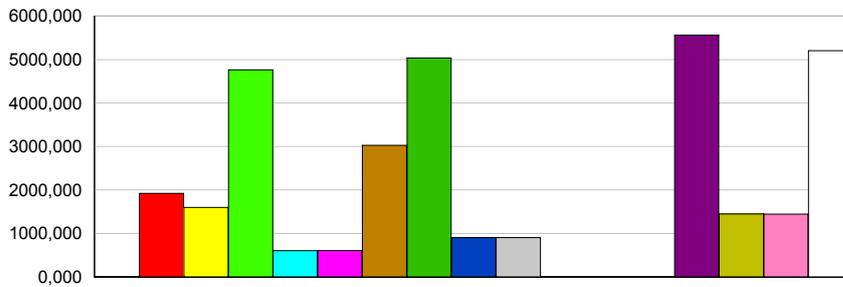
CLUSTER KISTERS	8352.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 1	29221.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 2	28355.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORAS	57576.0000
INSPNIVEL CLUSTER 1	25249.0000
INSPNIVEL CLUSTER 2	24862.0000
INSPSNIVEL CLUSTER	50111.0000
INSPSVACIO LLENADORA	54697.0000
INSPVACIO1 LLENADORA	27760.0000
INSPVACIO2 LLENADORA	26937.0000
KISTERS PALETIZADORA1	1044.0000
KISTERS PALETIZADORA2	1044.0000
KISTERS PALETIZADORAS	2088.0000
LLENADORA PASTER	54424.0000
PASTER ETIQUETADORA 1	25654.0000
PASTER ETIQUETADORA 2	26049.0000
PASTER ETIQUETADORAS	51703.0000

Capítulo 5 – Simulación en Líneas de Envasado



- Media Unidades acumuladas

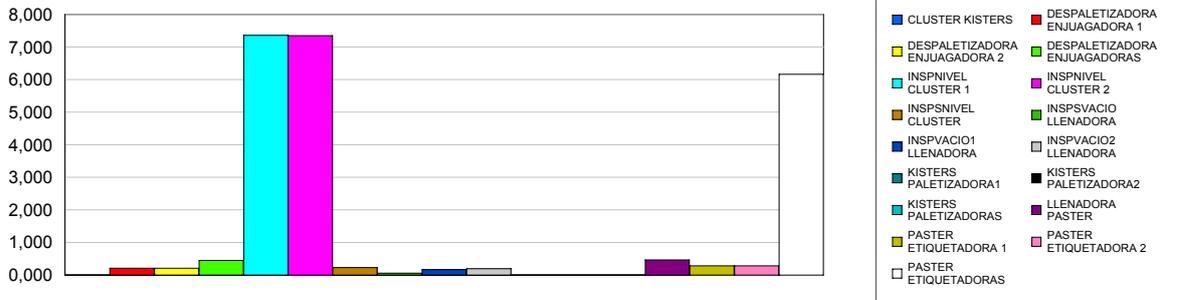
CLUSTER KISTERS	0.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 1	1920.3505
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 2	1597.0564
DESPALETIZADORA ENJUAGADORAS	4763.3696
INSPNIVEL CLUSTER 1	602.8751
INSPNIVEL CLUSTER 2	604.3455
INSPSNIVEL CLUSTER	3028.1587
INSPSVACIO LLENADORA	5033.2879
INSPVACIO1 LLENADORA	903.5523
INSPVACIO2 LLENADORA	903.0305
KISTERS PALETIZADORA1	0.0414
KISTERS PALETIZADORA2	0.0947
KISTERS PALETIZADORAS	0.0000
LLENADORA PASTER	5556.8441
PASTER ETIQUETADORA 1	1445.0871
PASTER ETIQUETADORA 2	1443.5174
PASTER ETIQUETADORAS	5203.7305



Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

- Total Tiempo falta de alimentación (horas)

CLUSTER KISTERS	0.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 1	0.2033
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 2	0.2033
DESPALETIZADORA ENJUAGADORAS	0.4507
INSPNIVEL CLUSTER 1	7.3580
INSPNIVEL CLUSTER 2	7.3481
INSPSNIVEL CLUSTER	0.2263
INSPSVACIO LLENADORA	0.0546
INSPVACIO1 LLENADORA	0.1626
INSPVACIO2 LLENADORA	0.1940
KISTERS PALETIZADORA1	0.0000
KISTERS PALETIZADORA2	0.0000
KISTERS PALETIZADORAS	0.0000
LLENADORA PASTER	0.4644
PASTER ETIQUETADORA 1	0.2778
PASTER ETIQUETADORA 2	0.2778
PASTER ETIQUETADORAS	6.1625



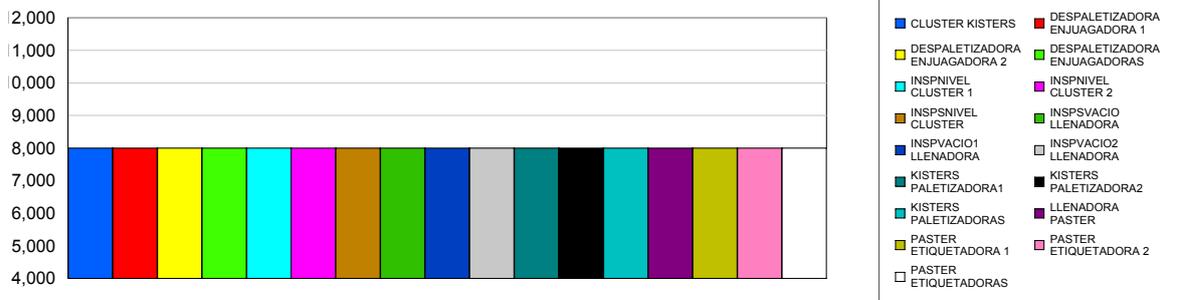
- Total Tiempo parado (horas)

CLUSTER KISTERS	0.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 1	0.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORA 2	0.0000
DESPALETIZADORA ENJUAGADORAS	0.0000
INSPNIVEL CLUSTER 1	0.0000
INSPNIVEL CLUSTER 2	0.0000
INSPSNIVEL CLUSTER	0.0000
INSPSVACIO LLENADORA	0.0000
INSPVACIO1 LLENADORA	0.0000
INSPVACIO2 LLENADORA	0.0000
KISTERS PALETIZADORA1	0.0000
KISTERS PALETIZADORA2	0.0000
KISTERS PALETIZADORAS	0.0000
LLENADORA PASTER	0.0000
PASTER ETIQUETADORA 1	0.0000
PASTER ETIQUETADORA 2	0.0000
PASTER ETIQUETADORAS	0.0000

Capítulo 5 – Simulación en Líneas de Envasado

- Total Tiempo trabajando (horas)

CLUSTER KISTERS	8.0000
DESPALETIZADORA	8.0000
ENJUAGADORA 1	
DESPALETIZADORA	8.0000
ENJUAGADORA 2	
DESPALETIZADORA	8.0000
ENJUAGADORAS	
INSPNIVEL CLUSTER 1	8.0000
INSPNIVEL CLUSTER 2	8.0000
INSPSNIVEL CLUSTER	8.0000
INSPSVACIO LLENADORA	8.0000
INSPVACIO1 LLENADORA	8.0000
INSPVACIO2 LLENADORA	8.0000
KISTERS PALETIZADORA1	8.0000
KISTERS PALETIZADORA2	8.0000
KISTERS PALETIZADORAS	8.0000
LLENADORA PASTER	8.0000
PASTER ETIQUETADORA 1	8.0000
PASTER ETIQUETADORA 2	8.0000
PASTER ETIQUETADORAS	8.0000



- Utilización (%)

CLUSTER KISTERS	100.0000
DESPALETIZADORA	100.0000
ENJUAGADORA 1	
DESPALETIZADORA	100.0000
ENJUAGADORA 2	
DESPALETIZADORA	100.0000
ENJUAGADORAS	
INSPNIVEL CLUSTER 1	100.0000
INSPNIVEL CLUSTER 2	100.0000
INSPSNIVEL CLUSTER	100.0000
INSPSVACIO LLENADORA	100.0000
INSPVACIO1 LLENADORA	100.0000
INSPVACIO2 LLENADORA	100.0000
KISTERS PALETIZADORA1	100.0000
KISTERS PALETIZADORA2	100.0000
KISTERS PALETIZADORAS	100.0000
LLENADORA PASTER	100.0000
PASTER ETIQUETADORA 1	100.0000

Máquinas

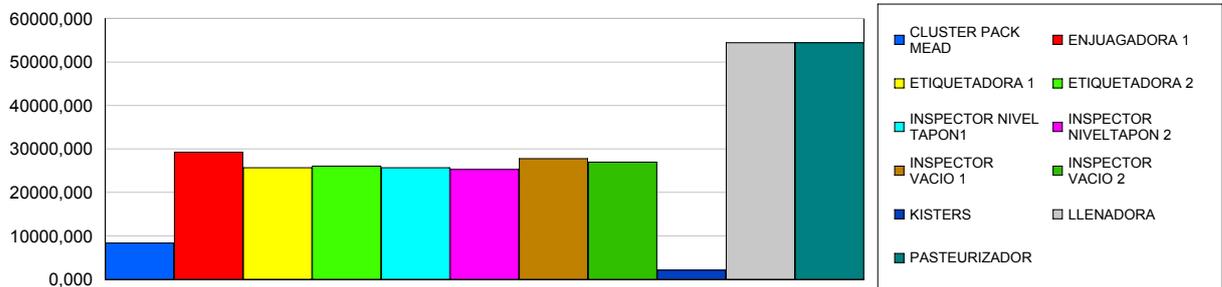
Descripción

- Velocidad (unidades/hora)

CLUSTER PACK MEAD	15780.0000
ENJUAGADORA 1	36000.0000
ETIQUETADORA 1	39960.0000
ETIQUETADORA 2	39960.0000
INSPECTOR NIVEL TAPON1	39960.0000
INSPECTOR NIVELTAPON 2	39960.0000
INSPECTOR VACIO 1	36000.0000
INSPECTOR VACIO 2	36000.0000
KISTERS	3720.0000
LLENADORA	64800.0000
PASTEURIZADOR	72000.0000

- Total unidades buenas producidas

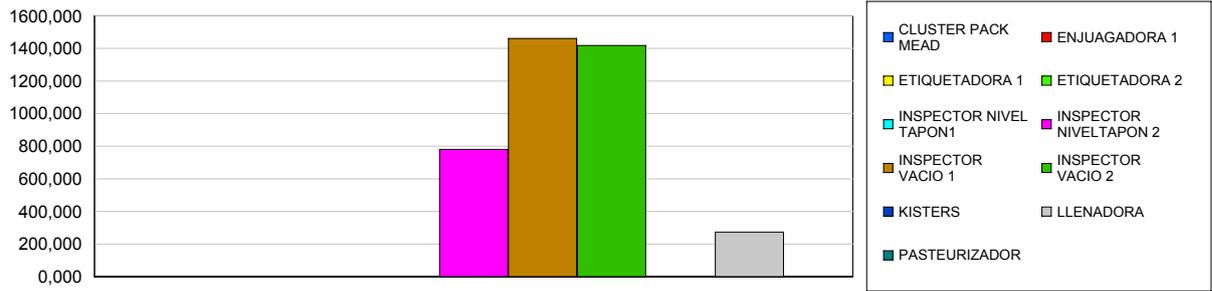
CLUSTER PACK MEAD	8352.0000
ENJUAGADORA 1	29221.0000
ETIQUETADORA 1	25654.0000
ETIQUETADORA 2	26049.0000
INSPECTOR NIVEL TAPON1	25654.0000
INSPECTOR NIVELTAPON 2	25267.0000
INSPECTOR VACIO 1	27760.0000
INSPECTOR VACIO 2	26937.0000
KISTERS	2088.0000
LLENADORA	54424.0000
PASTEURIZADOR	54424.0000



- Total Unidades perdidas

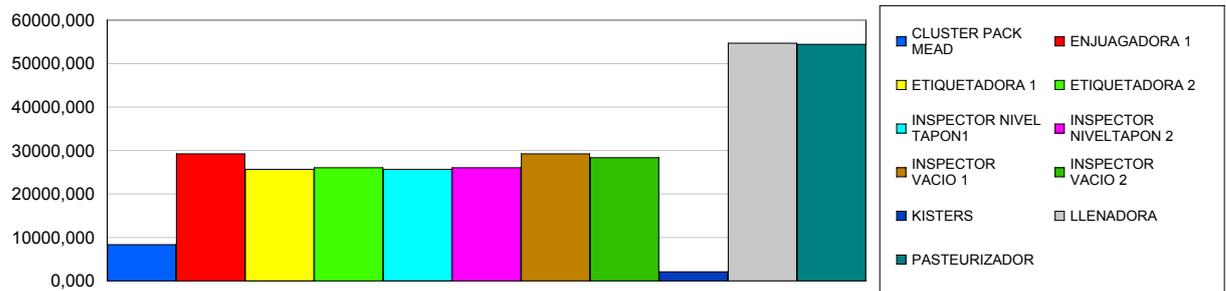
CLUSTER PACK MEAD	0.0000
ENJUAGADORA 1	0.0000
ETIQUETADORA 1	0.0000
ETIQUETADORA 2	0.0000
INSPECTOR NIVEL TAPON1	0.0000
INSPECTOR NIVELTAPON 2	781.0000
INSPECTOR VACIO 1	1461.0000
INSPECTOR VACIO 2	1418.0000
KISTERS	0.0000
LLENADORA	273.0000
PASTEURIZADOR	0.0000

Capítulo 5 – Simulación en Líneas de Envasado



- Total Unidades procesadas

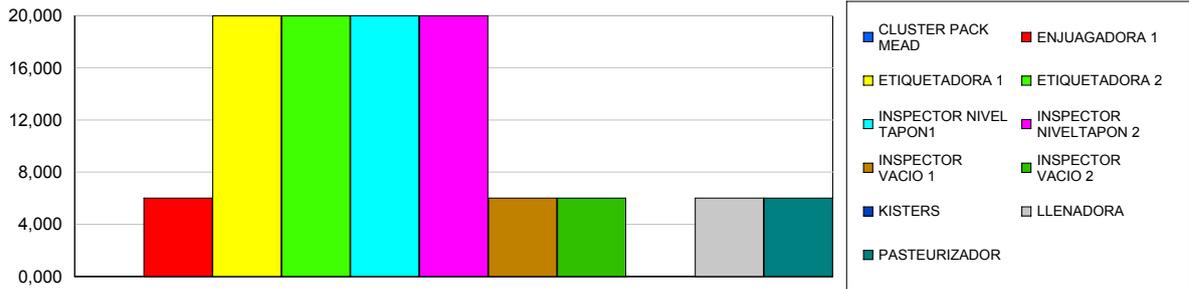
CLUSTER PACK MEAD	8352.0000
ENJUAGADORA 1	29221.0000
ETIQUETADORA 1	25654.0000
ETIQUETADORA 2	26049.0000
INSPECTOR NIVEL TAPON1	25654.0000
INSPECTOR NIVELTAPON 2	26049.0000
INSPECTOR VACIO 1	29221.0000
INSPECTOR VACIO 2	28355.0000
KISTERS	2088.0000
LLENADORA	54697.0000
PASTEURIZADOR	54424.0000



- Número de bloques

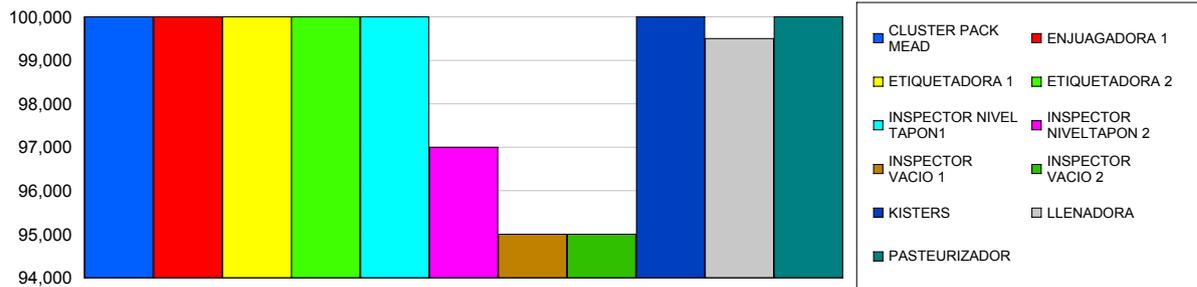
CLUSTER PACK MEAD	0.0000
ENJUAGADORA 1	6.0000
ETIQUETADORA 1	20.0000
ETIQUETADORA 2	20.0000
INSPECTOR NIVEL TAPON1	20.0000
INSPECTOR NIVELTAPON 2	20.0000
INSPECTOR VACIO 1	6.0000
INSPECTOR VACIO 2	6.0000
KISTERS	0.0000
LLENADORA	6.0000
PASTEURIZADOR	6.0000

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado



- % Unidades buenas producidas**

CLUSTER PACK MEAD	100.0000
ENJUAGADORA 1	100.0000
ETIQUETADORA 1	100.0000
ETIQUETADORA 2	100.0000
INSPECTOR NIVEL TAPON1	100.0000
INSPECTOR NIVELTAPON 2	97.0017
INSPECTOR VACIO 1	95.0002
INSPECTOR VACIO 2	94.9991
KISTERS	100.0000
LLENADORA	99.5009
PASTEURIZADOR	100.0000



- Total tiempo bloqueado (acumulación salida y falta de alimentación) (horas)**

CLUSTER PACK MEAD	0.0000
ENJUAGADORA 1	7.1815
ETIQUETADORA 1	7.3580
ETIQUETADORA 2	7.3481
INSPECTOR NIVEL TAPON1	7.3580
INSPECTOR NIVELTAPON 2	7.3481
INSPECTOR VACIO 1	7.1815
INSPECTOR VACIO 2	7.1742
KISTERS	0.0000
LLENADORA	7.1279
PASTEURIZADOR	7.0273

- Total tiempo falta alimentación (horas)

CLUSTER PACK MEAD	0.0000
ENJUAGADORA 1	0.0068
ETIQUETADORA 1	0.0000
ETIQUETADORA 2	0.0000
INSPECTOR NIVEL TAPON1	0.0000
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	0.0000
INSPECTOR VACIO 1	0.0068
INSPECTOR VACIO 2	0.0382
KISTERS	0.0000
LLENADORA	0.0280
PASTEURIZADOR	0.1795

- Total tiempo trabajando (horas)

CLUSTER PACK MEAD	8.0000
ENJUAGADORA 1	0.8185
ETIQUETADORA 1	0.6420
ETIQUETADORA 2	0.6519
INSPECTOR NIVEL TAPON1	0.6420
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	0.6519
INSPECTOR VACIO 1	0.8185
INSPECTOR VACIO 2	0.8258
KISTERS	8.0000
LLENADORA	0.8721
PASTEURIZADOR	0.9727

- Utilización (%)

CLUSTER PACK MEAD	100.0000
ENJUAGADORA 1	10.1463
ETIQUETADORA 1	8.0249
ETIQUETADORA 2	8.1483
INSPECTOR NIVEL TAPON1	8.0249
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	8.1483
INSPECTOR VACIO 1	10.1463
INSPECTOR VACIO 2	9.8454
KISTERS	100.0000
LLENADORA	10.5512
PASTEURIZADOR	9.9147

6 Análisis de Estrategias.

6.1 Estrategias TPM

A partir de los objetivos de dirección, desglose de OPI, análisis de pérdidas, localización de puntos de mejora, recursos etc. se definen las Estrategias generales para alcanzar los resultados propuestos.

A continuación, en la tabla 14 se muestran los objetivos de la fábrica de cerveza definidos para el año 2006, teniendo en cuenta los objetivos y resultados del 2005.

OBJETIVOS DE DIRECCIÓN

OPI %		PRODUCTIVIDAD (HIs/FTE)	
BARRILERÍA	68%	FÁBRICA	8751
EMBOTELLADO	55%	ENVASADO	19722

DISTRIBUCIÓN DE OPIs ENTRE LINEAS PARA CONSEGUIR OBJETIVOS DE DIRECCIÓN

	nº unidades planificadas (2006)	nº turnos planificados*	OPI 2005 (%)	OPI objeti	tiempos produccion buena	OPI objetivo
B-1	1.004.361	577	53%	60%	346	
B-2	2.241.497	601	73%	75%	451	
BARRILERÍA	3.245.858	1.178			797	68%
T3	10.711.695	714	58%	68%	486	
T5	9.846.084	787	57%	70%	551	
T8	3.160.964	681	37%	39%	266	
T10	4.895.724	508	34%	34%	173	
EMBOTELLADO	28.614.467	2.690			1.475	55%

PRODUCTIVIDAD ALCANZADA CON LOS VALORES OBJETIVO DE OPIs

	OPI 2005 (%)	OPI objeti	nº turnos planificados*	nominal (unidades/turno)	Unidades según OPI 2005	Unidades según OPI objetivo	Incremento de volumen HIs
B-1	53%	60%	577	3840	1.174.310	1.329.408	62039
B-2	73%	75%	601	4800	2.105.904	2.163.600	28848
BARRILERÍA			1.178				0
T3	58%	68%	714	26667	11.043.338	12.947.362	114241
T5	57%	70%	787	20000	8.971.800	11.018.000	122772
T8	37%	39%	681	13333	3.359.516	3.541.111	14528
T10	34%	34%	508	26667	4.605.924	4.605.924	0
EMBOTELLADO			2.690			TOTAL	342428

VOLUMEN TOTAL (HIS)	3667886
FTEs FÁBRICA	389
PRODUCTIVIDAD TEÓRICA(HIs/FTEs)	9429

Tabla 14. Objetivos de Fábrica "2006"

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

Los datos referentes al “Tren 5” (línea de envasado objeto de análisis) están resaltados en amarillo.

El objetivo del Tren 5 para el año 2006, es lograr un OPI del 70%, a partir de un OPI alcanzado en el 2005 del 57%.

El problema actual de la línea se resume en un valor de OPI bajo, frente a las posibilidades del tren.

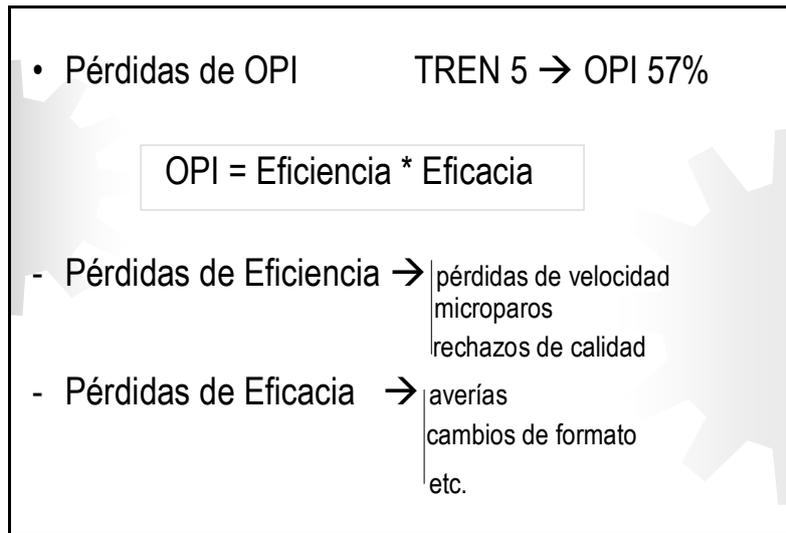


Figura 38. Problema actual “Tren 5”

Como se ha comentado con anterioridad, el objetivo principal con el que se ha diseñado el modelo de simulación de la línea es mejorar la eficiencia del tren y por consiguiente el OPI.

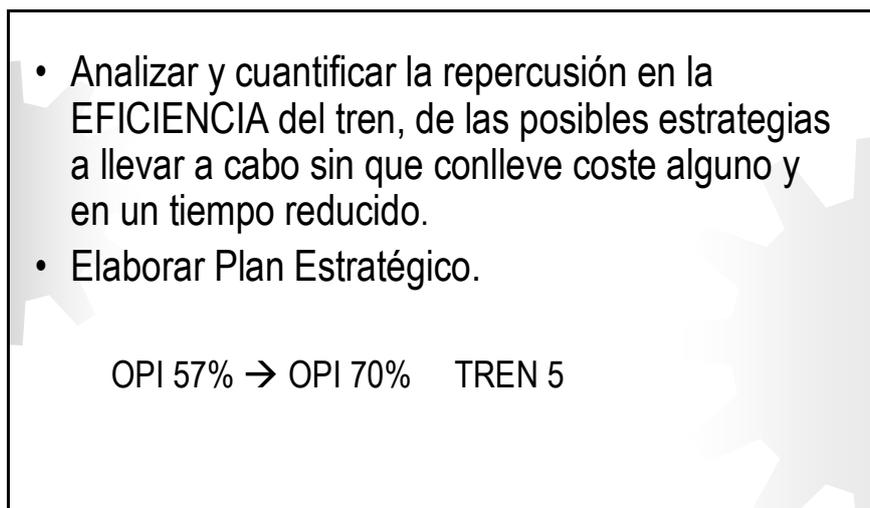


Figura 39. Objetivo Proyecto de Simulación

Mediante carreras de simulación, se van a evaluar las estrategias propuestas para mejorar la Eficiencia de la Línea.

Dicha evaluación consiste en obtener los resultados en términos de puntos de OPI que se ganarían al implantar dichas estrategias propuestas.

La Pérdida de Eficiencia (Capítulo 4) se debe a las pérdidas de velocidad, microparos y rechazos producidos en la línea (parámetros contemplados en el modelo de simulación).

El Pilar de Mejora Específica se encarga del desglose de dichas pérdidas y de la puesta en marcha de “Equipos TPM”, para su reducción.

A continuación se va a explicar con más detalle las funciones de dicho pilar.

6.1.1 Pilar Mejora Específica

La misión del Pilar de Mejora Específica es establecer una estrategia de mejora que permita optimizar las instalaciones y los recursos, eliminando las pérdidas y dando soporte metodológico a los Equipos de Mejora.

Desarrolla los “modelos de OPI” y define los objetivos para cada pérdida involucrando a los pilares afectados.

- Contribuye a definir la estrategia de mejora a través del desarrollo:
 - del modelo de OPI y VOLUMEN y del análisis de la diferencia
 - del modelo de PRODUCTIVIDAD y del análisis de la diferencia
- Desarrolla el “know how” (saber cómo) y da apoyo a los grupos de mejora para atajar las pérdidas adoptando el enfoque apropiado al nivel de la pérdida :
 - en las pérdidas específicas de la máquina (p.ej. tiempo de ajuste)
 - en la productividad de la mano de obra
- Desarrolla el sistema de control de fábrica para garantizar la aplicación continua de los estándares World Class que se han conseguido.

➤ **Como reducir pérdidas de velocidad**

Es posible reducir las “pérdidas de velocidad” por lo menos un 80% y al mismo tiempo reducir drásticamente la fatiga de los operadores.

Las pérdidas de velocidad son la diferencia entre velocidad técnica y velocidad efectiva.

Actualmente resulta imposible mantener de modo permanente la velocidad técnica a causa de numerosos problemas, la mayor parte los cuales son fáciles de resolver.

A través de algunos simples pasos se reducirá sobre todo la diferencia llegando por lo tanto incluso a mejorar la velocidad técnica.

- Actualmente es imposible mantener de modo permanente la velocidad técnica, porque cuando se alcanza, la máquina:
 - genera muchos más defectos
 - sufre a menudo pequeñas paradas debidas a material atascado, recalentamiento, etc.
 - tiene mayores probabilidades de averías
- y:
 - los componentes débiles tiene un índice más elevado de deterioración forzosa
- Las fases de un proyecto de reducción de pérdidas de velocidad, se muestran a continuación en la Figura 29.

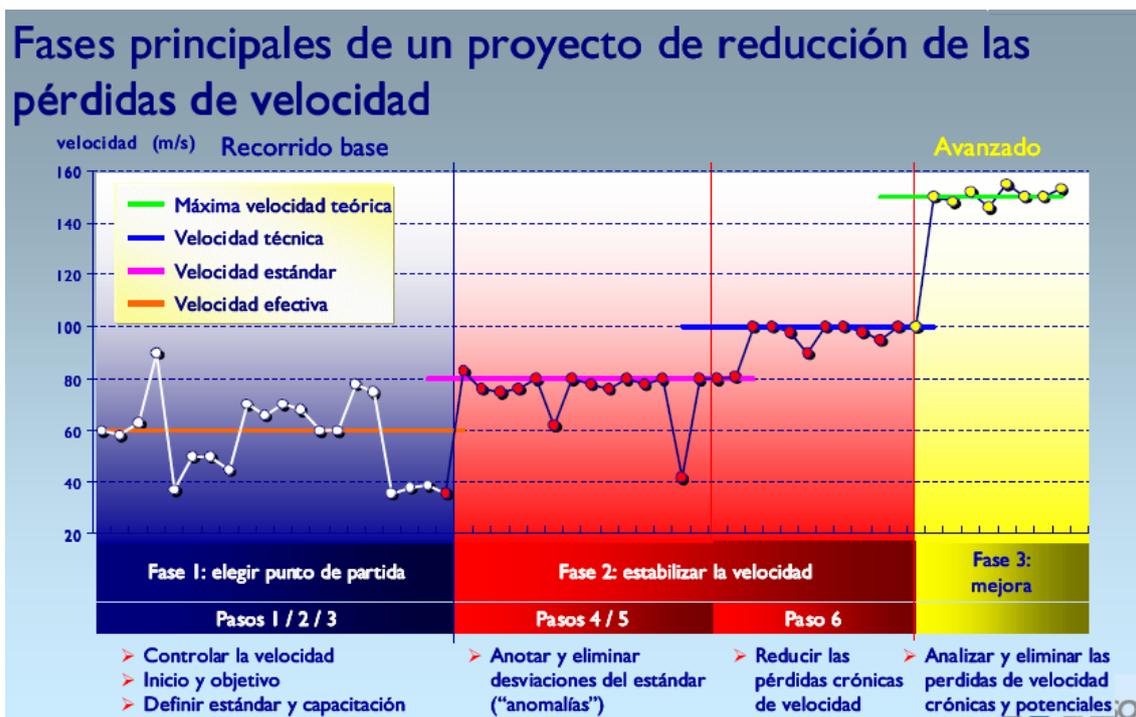


Figura 40. Fases Proyecto de Reducción de Pérdidas de velocidad

- A continuación, en la Figura 30 se muestran los 6 pasos junto con sus actividades correspondientes para eliminar las Pérdidas de Velocidad.

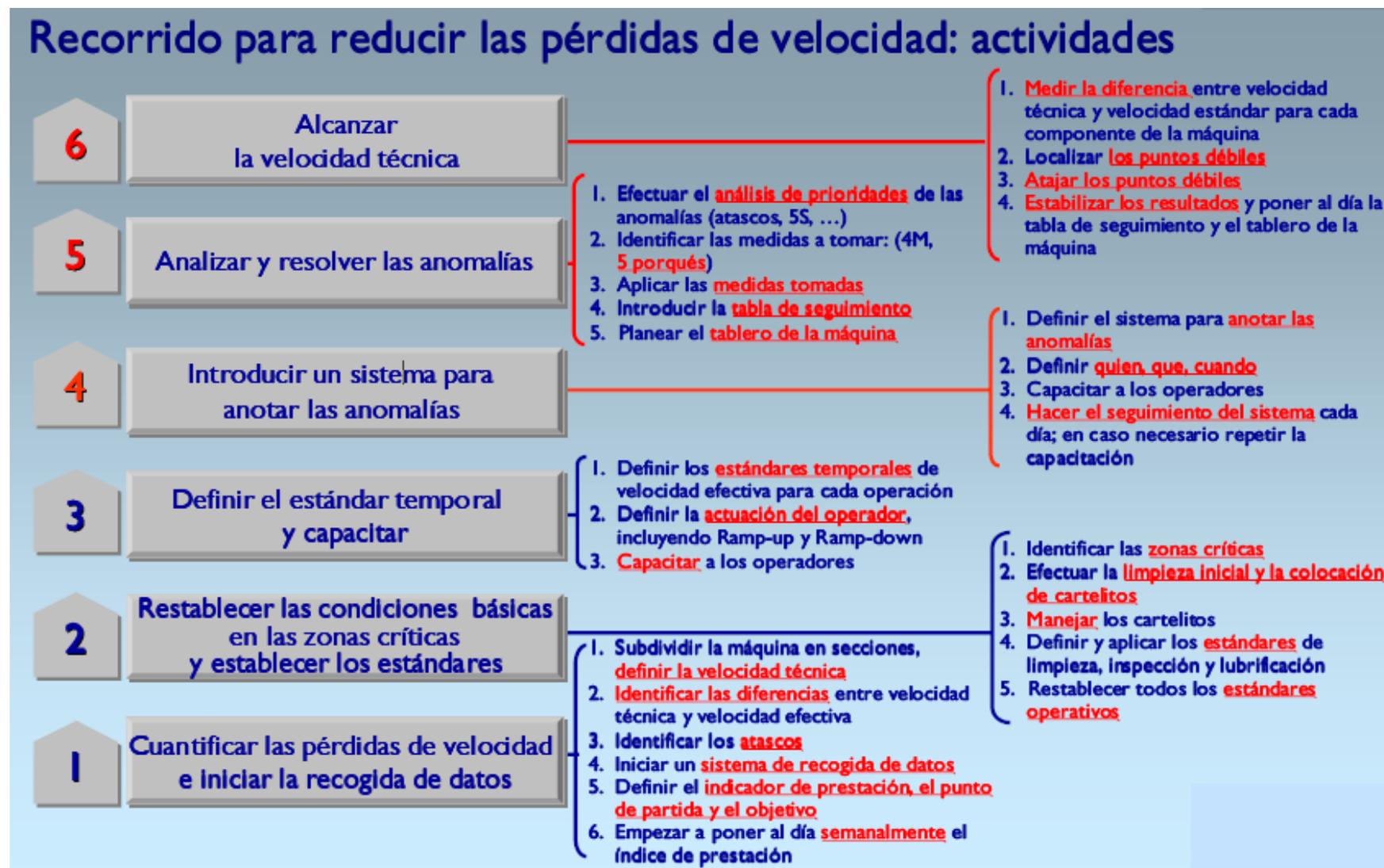


Figura 41. Pasos para reducir las Pérdidas de Velocidad

➤ ***Como reducir pequeñas paradas (microparos)***

Las pequeñas paradas derivan principalmente de causas sencillas y se pueden reducir drásticamente sin complejas intervenciones en las máquinas; aunque existen también pequeñas paradas que sólo se pueden eliminar empleando sofisticados métodos de análisis y operaciones con elevado contenido técnico.

A menudo se resta importancia a las pequeñas paradas, ya que no resulta fácil localizarlas y el personal tiende a no atribuirle la debida importancia. Pero pese a que no generan problemas particulares, pueden afectar gravemente a la fiabilidad del sistema.

Son causa de grandes pérdidas tales como reducción de la eficiencia, defectos, pérdida de energía etc.

Cada pequeña parada es el resultado final de una serie de pequeñas anomalías que a menudo se ignoran: polvo, suciedad, tuercas flojas, vibraciones, pérdidas de líquido, desgaste, corrosión, etc.

Para reducir las pérdidas debidas a pequeñas paradas, como norma primordial, hay que aumentar el MTBF eliminando las causas básicas de la parada.

En caso de que no se consiga resolver la raíz del problema, hay que reducir el MTTTR mediante un eficaz estándar de restablecimiento (será siempre una buena medida temporal).

Los dos tipos principales de pequeñas paradas son:

- Repetitivas → Pequeñas paradas con frecuencia variable, derivadas de una causa única y fácil de identificar
- Crónica → Pequeñas paradas de frecuencia limitada, debidas a causas complejas, relacionadas entre sí y a menudo desconocidas.

El recorrido para la reducción de las pequeñas paradas consta de tres fases:

- FASE1

Atajar las pequeñas paradas frecuentes restableciendo las condiciones básicas de la máquina.

- FASE2

Atajar las pequeñas paradas frecuentes restantes utilizando instrumentos sencillos para resolver el problema.

- FASE3

Atajar las pequeñas paradas crónicas mediante los instrumentos complejos para resolver el problema.

Pequeñas paradas y fases de la metodología en síntesis:

	Repetitivas		Crónicas
Frecuencia	Alta	Baja	Baja
Complejidad	Baja		Alta
Causa	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Casi siempre única ➤ A menudo fácil de Identificar 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Más de una ➤ No fácil de Identificar
	Conocida	A veces conocida	Desconocida
Instrumento a utilizar	Restablecim.	4M 5 porqués	"Story Board" - W ² BLA Análisis PM
Fases de la metodología	Fase 1	Fase 2	Fase 3

Figura 42. Fases Reducción Pequeñas Paradas

A continuación en la Figura 32, se muestra el recorrido para reducir las pequeñas paradas.

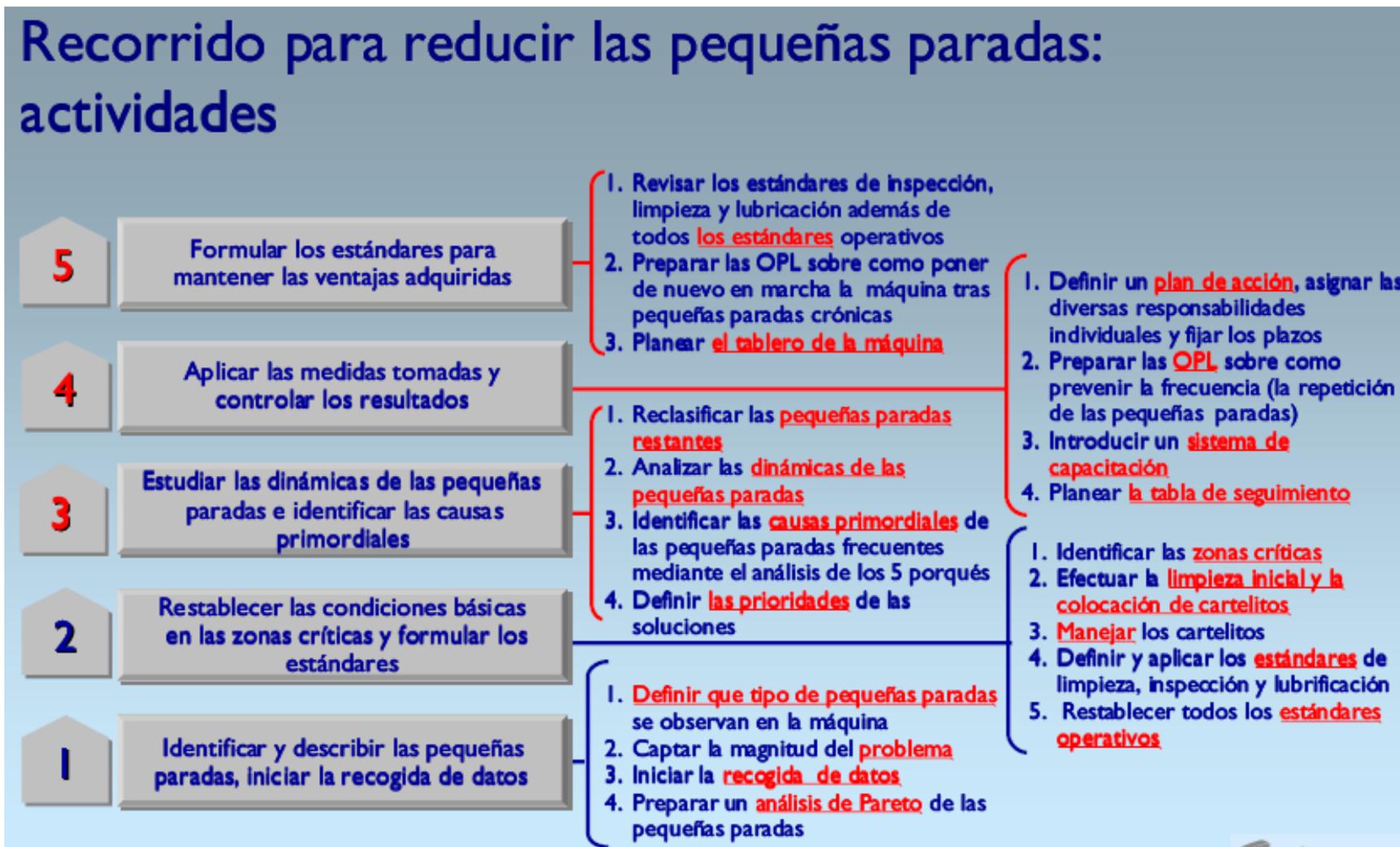


Figura 43. Recorrido Reducción Pequeñas Paradas

6.1.2 Desglose OPI Tren 5

A partir del OPI Objetivo y del desglose de las Pérdidas de OPI, se fijan los objetivos para los diferentes tipos de pérdidas.

A continuación se recuerdan los objetivos de la Fábrica ya vistos en el punto 6.1 para el año 2006.

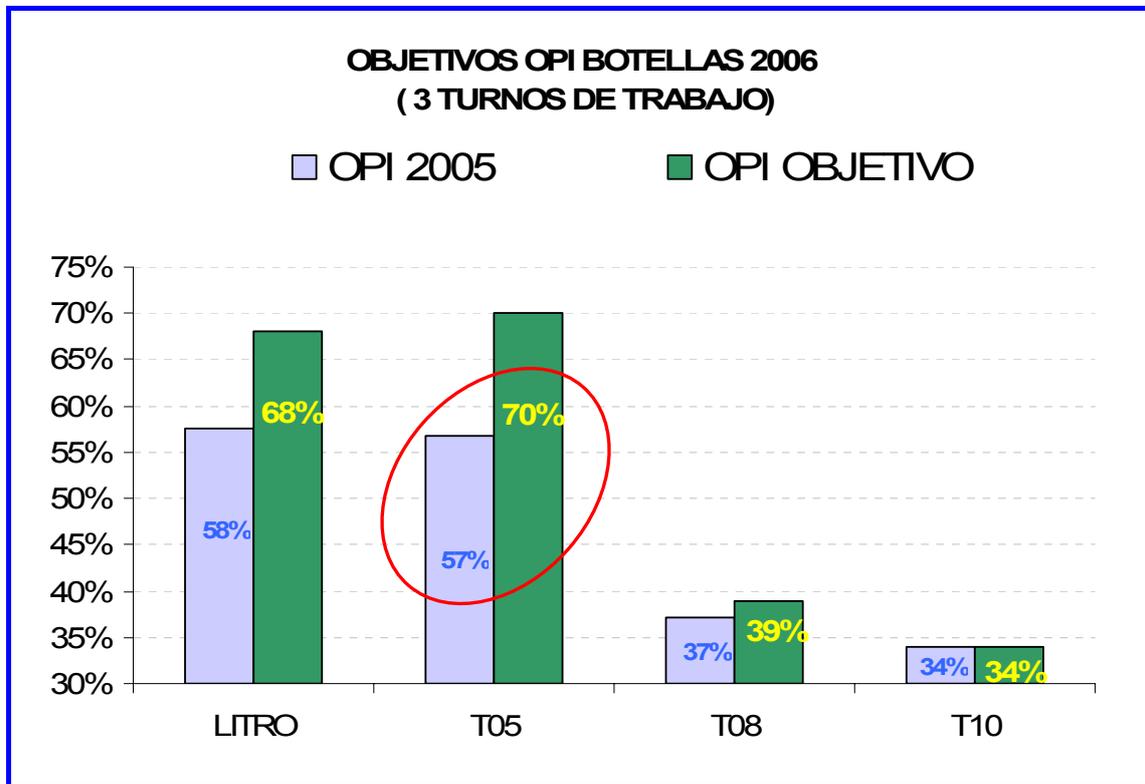


Figura 44. Objetivos OPI Botellas 2006

Centrándonos en la Línea de Envasado Tren 5, las pérdidas de OPI del 2005 en dicho tren son:

PÉRDIDAS DE EFICIENCIA

TREN 5	OPI %	Incont	Rech.	Aver	Extern	C.Form	P. Plan.	NONA	Mant Ext.
ACUMULADO	56,8%	5,6%	0,0%	28,7%	1,7%	1,7%	5,5%	0,0%	0,0%

Tabla 15. Pérdidas de OPI 2005 “Tren 5”

Las Pérdidas de Eficiencia tienen un valor del 5,6%. Este 5,6% denominado “Incontrolados” lo componen las Pérdidas de Velocidad y los Microparos. Las Pérdidas por Rechazos son nulas.

En las Figuras 44 y 45 se muestran las pérdidas de manera gráfica.

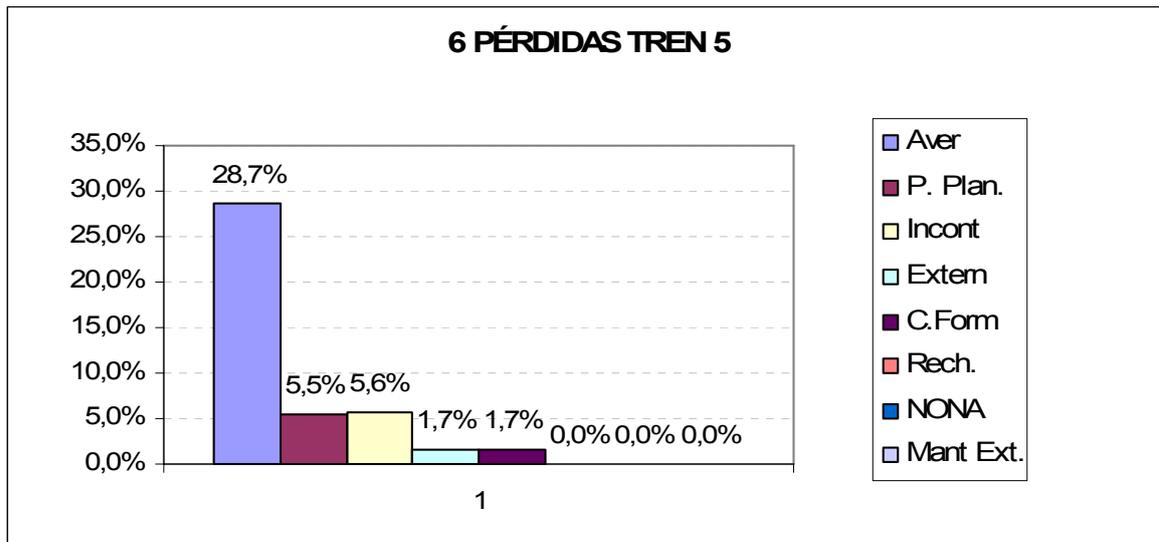


Figura 45. Pérdidas de OPI 2005 “Tren 5”

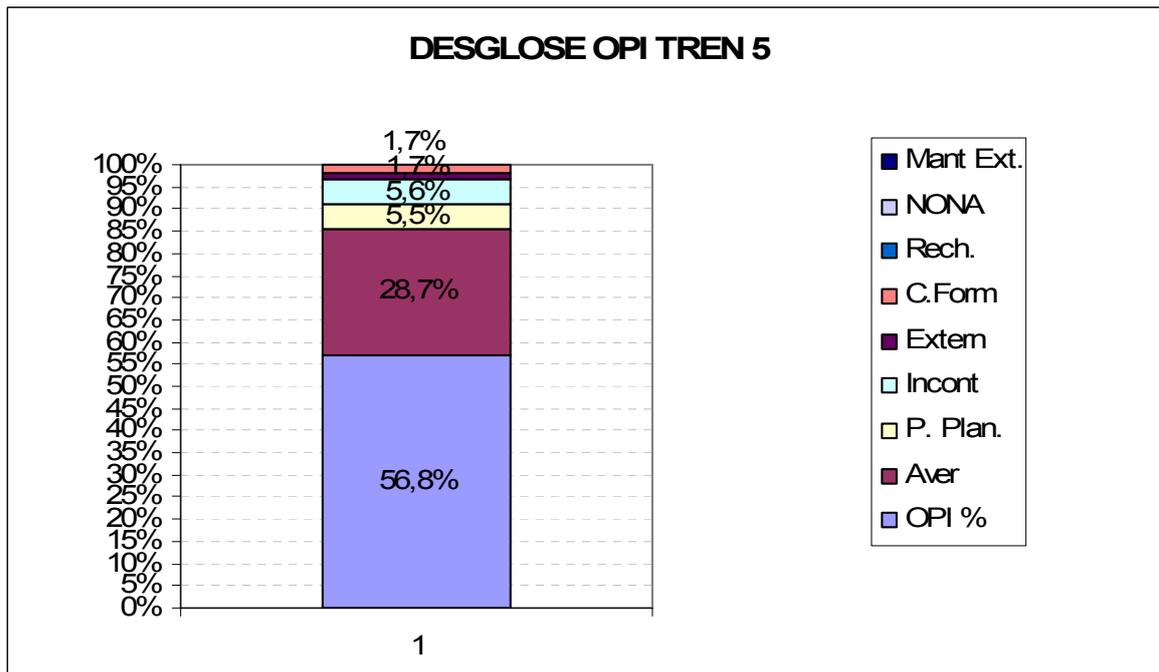


Figura 46. Desglose OPI 2005 “Tren 5”

A continuación, en la Tabla 16 se muestran para el Tren 5, los objetivos potenciales para el 2006 para cada tipo de pérdida.

TREN 5	ACUMULADO	% MEJORA	REDUCCION	PÉRDIDA OBJETIVO
OPI %	56,80%	16,1%	9,12%	65,91%
Aver	28,70%	22,0%	6,31%	22,39%
P. Plan.	5,51%		0,00%	5,51%
Incont	5,61%	50,0%	2,80%	2,80%
Extern	1,66%		0,00%	1,66%
C.Form	1,69%		0,00%	1,69%
Rech.	0,03%		0,00%	0,03%
NONA	0,00%		0,00%	0,00%
Mant Ext.	0,00%		0,00%	0,00%

Tabla 16. Objetivos Pérdidas OPI 2006 "Tren 5"

El objetivo para las Pérdidas de Eficiencia (Incontrolados y Rechazos) es una reducción de las mismas en un 50%, es decir, pasar de un 5,61% a un 2,8% (Figura 46).

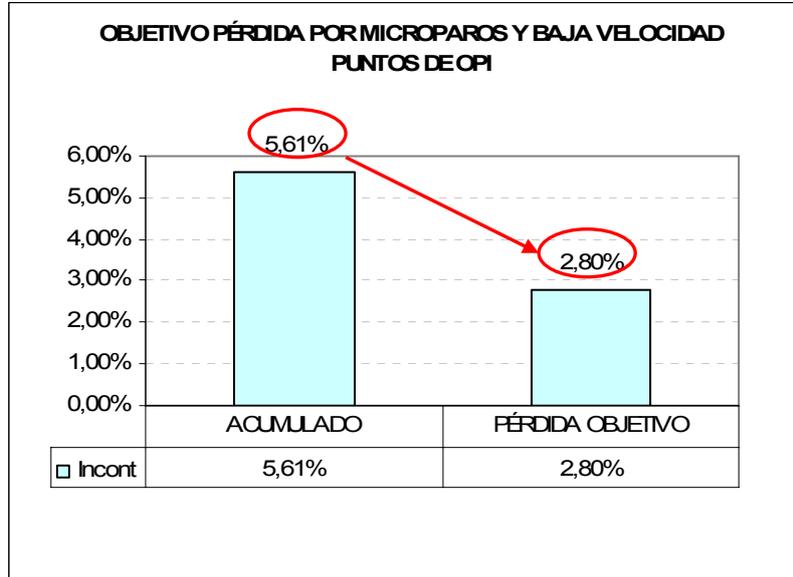


Figura 47. Objetivo Pérdida Microparos y Baja Velocidad

6.2 Análisis de Estrategias mediante Simulación

En el capítulo 5 se ha desarrollado un modelo base del proceso del sistema; se ha definido el comportamiento básico de los equipos tales como las velocidades de procesamiento y las pérdidas; y se ha llevado a cabo una carrera de simulación inicial.

A continuación vamos a proceder al análisis de estrategias con la intención de evaluar los resultados para alcanzar los objetivos especificados en el punto anterior.

En primer lugar, se muestra y evalúa la situación actual del Tren; resultado de la simulación de un turno (8 horas) y un período inicial de 5 horas (antes de proceder a las estadísticas), a partir de los datos recogidos del sistema real.

Dicha situación de partida se muestra en la Tabla 17.

La eficiencia inicial de la línea es 83,09 % (Tabla 17). Sabiendo además que la eficacia de la línea es del 69%; podemos comprobar el valor de OPI de la línea :

$$\text{OPI (\%)} = \text{EFICACIA} * \text{EFICIENCIA} * 100$$

$$\text{OPI (\%)} = 0,69 * 0,83 * 100 = \mathbf{57 \% \text{ OPI}}$$

- Se observa (Tabla 17) que la máquina con mayor nº de microparos (257 microparos) y tiempo total de duración (1,584h) es la Kisters. Parece lógico crear un Equipo de Reducción de Microparos en la Kisters. Por lo que la primera estrategia a analizar es:
 - Estrategia Kisters → Reducción en un 50% el nº de microparos en la Kisters mediante un Equipo de Reducción de Microparos.

- La Llenadora es la máquina principal de una línea de envasado. Por otro lado, es la segunda máquina con mayor tiempo total de duración de microparos (0,615h). Se propone la posibilidad de crear también, un Equipo de Reducción de Microparos en la Llenadora:
 - Estrategia Llenadora → Reducción en un 50% el nº de microparos en la Llenadora mediante un Equipo de Reducción de Microparos.

En las figuras 48 y 49 se muestra de manera gráfica el número de microparos por máquina y el tiempo total de duración de los microparos.

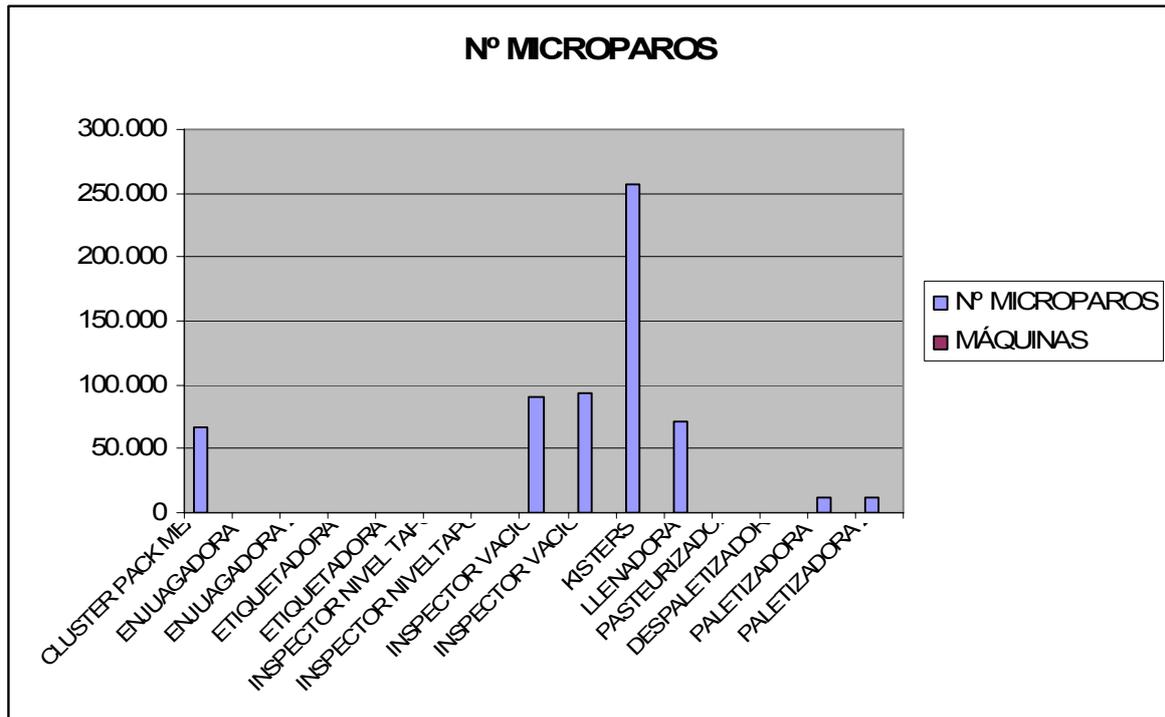


Figura 48. Nº Microparos máquinas – Situación actual

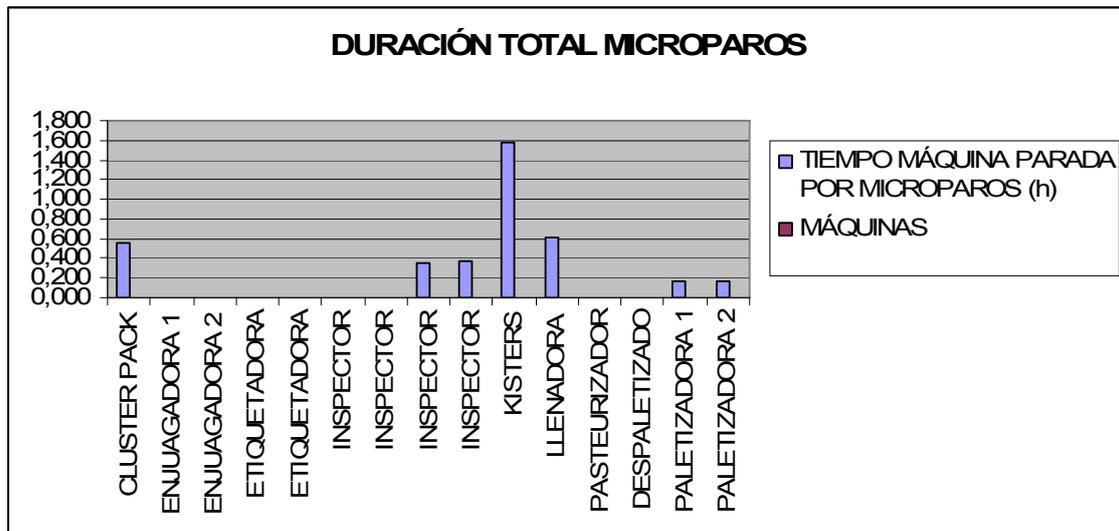


Figura 49. Duración Total Microparos – Situación actual

En las tablas 18 y 19 se muestran los resultados de ambas estrategias.

Se comprueba que la eficiencia de la línea no varía prácticamente (83%).

No siempre el aumento de la eficiencia en una máquina en concreto de la línea, a partir de la reducción de un tipo de pérdida, repercute en un aumento de la eficiencia de la línea. Esto se debe a que las relaciones, interacciones en nuestro

sistema real son complejas o con cierto grado de incertidumbre (punto 5.1.5 Necesidad simulación en Líneas de Envasado).

- Las unidades pérdidas son despreciables frente a las unidades producidas, por lo que en principio, no se va a adoptar ninguna medida para la reducción de rechazos.
- Volviendo a analizar la situación de partida y a la vista de los resultados obtenidos con la aplicación de las dos primeras estrategias; podemos observar que en el proceso de etiquetado hay una duración total de 3 horas de parada por acumulación a la salida; y sin embargo dicho valor en la mead, máquina siguiente a las etiquetadoras, es cero (ver Figura 50). Esto indica que la mead está bloqueando las máquinas anteriores, posiblemente por una pérdida de velocidad.

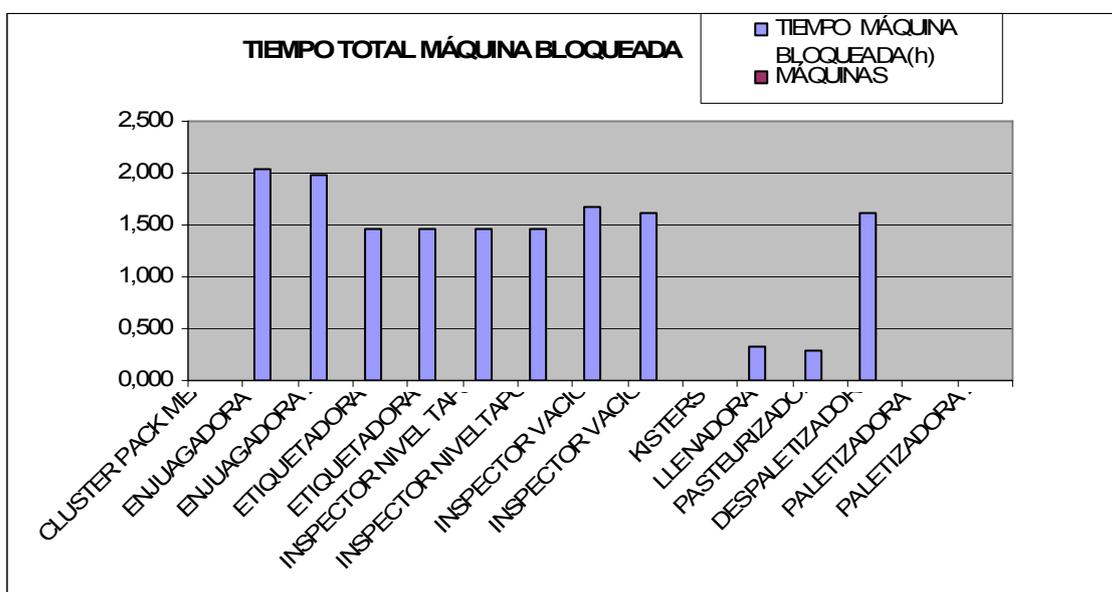


Figura 50. Tiempo Total Máquina Bloqueada

La velocidad nominal de la Mead es 12000 packs/h (72000bot/h); y la velocidad de funcionamiento actual es de 11160 packs/h. Se propone la siguiente Estrategia:

- Estrategia Mead → Aumentar la velocidad de la Mead a 11700 packs/h (70200 bot/h) mediante un Equipo de Reducción de Pérdidas de Velocidad.

Los resultados de aplicar la “Estrategia Mead”, se muestran en la Tabla 20.

La Eficiencia de la línea ha aumentado a un 85,9 % ; lo que se traduce en una ganancia de 2,81 puntos de OPI, es decir, un OPI final del 59,3%.

- Tras la aplicación de la estrategia anterior, se comprueba (Tabla 20), que las etiquetadoras y la Llenadora no se paran por acumulación de botellas a la salida (Figura 51).

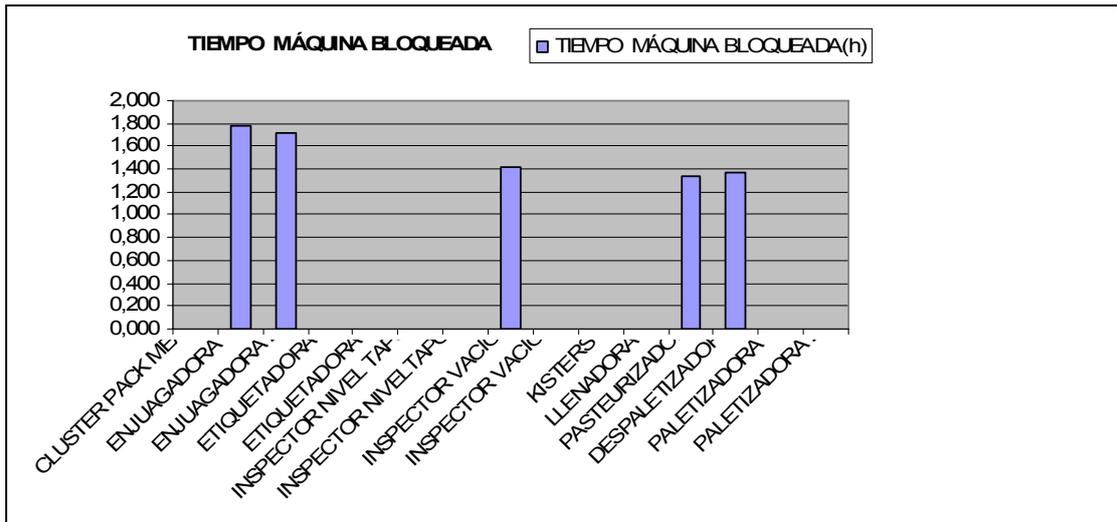


Figura 51. Tiempo Total máquina bloqueada – Estrategia Mead

La Llenadora ya no se bloquea por acumulación a la salida, por lo que ahora es probable, que la “Estrategia Llenadora” repercuta en un aumento de la Eficiencia de la Línea.

En la Tabla 21 se muestran los resultados de aplicar ambas estrategias en conjunto: Aumento de la velocidad de la mead, y reducción del nº de microparos en la llenadora.

Efectivamente la Eficiencia pasa a ser del 87,14 %; lo que se traduce en una ganancia de 4,05 puntos de OPI, es decir, un OPI final del 61,3%.

En la Figura 52 se muestra la Eficiencia conseguida tras la aplicación a cada una de las estrategias anteriormente definidas.

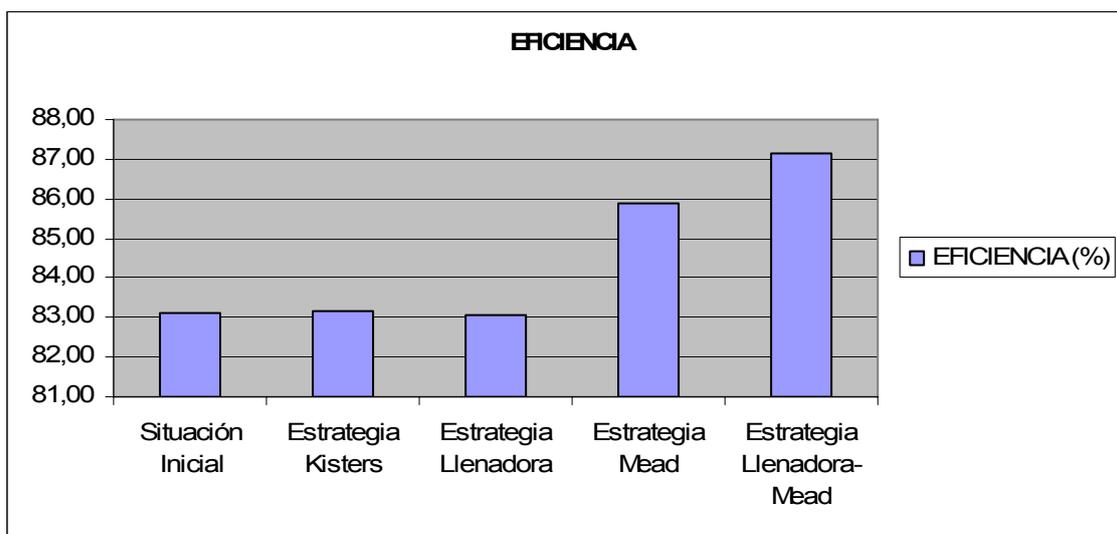


Figura 52. Resultado Eficiencia tras aplicación Estrategias

MÁQUINAS	VELOCIDAD (uds/h)	TOTAL UDS BUENAS PRODUCIDAS	TOTAL UDS RECHAZADAS	Nº MICROPAROS	TIEMPO MÁQUINA PARADA POR MICROPAROS (h)	TIEMPO MÁQUINA BLOQUEADA(h)	FALTA DE ALIMENTACIÓN (h)	TIEMPO TOTAL TRABAJANDO (h)
CLUSTER PACK MEAD	11.160.000	71.982.000	0.000	67.000	0.550	0.000	0.0000	6.450
ENJUAGADORA 1	36.000.000	214.530.000	0.000	0.000	0.000	2.040	0.0006	5.959
ENJUAGADORA 2	36.000.000	214.705.000	0.000	0.000	0.000	1.983	0.0521	6.016
ETIQUETADORA 1	34.980.000	215.666.000	0.000	0.000	0.000	1.459	0.1700	6.540
ETIQUETADORA 2	34.980.000	215.666.000	0.000	0.000	0.000	1.459	0.1700	6.540
INSPECTOR NIVEL TAPON1	34.980.000	215.645.000	22.000	0.000	0.000	1.459	0.1700	6.540
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	34.980.000	215.645.000	22.000	0.000	0.000	1.459	0.1700	6.540
INSPECTOR VACIO 1	36.000.000	214.316.000	215.000	90.000	0.360	1.680	0.0007	5.959
INSPECTOR VACIO 2	36.000.000	214.492.000	215.000	94.000	0.376	1.607	0.0523	6.016
KISTERS	3.120.000	17.992.000	0.000	257.000	1.584	0.000	0.4653	6.415
LLENADORA	60.780.000	429.156.000	215.000	71.000	0.615	0.320	0.0000	7.064
PASTEURIZADOR	72.000.000	429.156.000	0.000	0.000	0.000	0.298	0.6698	7.701
DESPALETIZADORA	73.800.000	428.675.000	0.000	0.000	0.000	1.611	0.000	6.388
PALETIZADORA 1	39.600.000	9.002.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.345	7.826
PALETIZADORA 2	39.600.000	9.002.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.345	7.826

*MÁQUINA BLOQUEADA --> Máquina parada por falta de alimentación o acumulación a la salida

*FALTA ALIMENTACIÓN--> No implica que la máquina este parada

83,09

EFICIENCIA DE LA LÍNEA

Tabla 17. Resultados simulación Estado Inicial

MÁQUINAS	VELOCIDAD (uds/h)	TOTAL UDS BUENAS PRODUCIDAS	TOTAL UDS RECHAZADAS	Nº MICROPAROS	TIEMPO MÁQUINA PARADA POR MICROPAROS (h)	TIEMPO MÁQUINA BLOQUEADA(h)	FALTA DE ALIMENTACIÓN (h)	TIEMPO TOTAL TRABAJANDO (h)
CLUSTER PACK MEAD	11.160.000	71.982.000	0.000	67.000	0.550	0.000	0.000	6.450
ENJUAGADORA 1	36.000.000	214.530.000	0.000	0.000	0.000	2.040	0.000	5.959
ENJUAGADORA 2	36.000.000	214.705.000	0.000	0.000	0.000	1.983	0.052	6.016
ETIQUETADORA 1	34.980.000	215.666.000	0.000	0.000	0.000	1.459	0.170	6.540
ETIQUETADORA 2	34.980.000	215.666.000	0.000	0.000	0.000	1.459	0.170	6.540
INSPECTOR NIVEL TAPON1	34.980.000	215.645.000	22.000	0.000	0.000	1.459	0.170	6.540
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	34.980.000	215.645.000	22.000	0.000	0.000	1.459	0.170	6.540
INSPECTOR VACIO 1	36.000.000	214.316.000	215.000	90.000	0.360	1.680	0.000	5.959
INSPECTOR VACIO 2	36.000.000	214.492.000	215.000	94.000	0.376	1.607	0.052	6.016
KISTERS	3.120.000	18.007.000	0.000	142.000	0.8757	0.000	0.966	7.124
LLENADORA	60.780.000	429.156.000	215.000	71.000	0.615	0.320	0.000	7.064
PASTEURIZADOR	72.000.000	429.156.000	0.000	0.000	0.000	0.298	0.669	7.701
DESPALETIZADORA	73.800.000	428.675.000	0.000	0.000	0.000	1.611	0.000	6.388
PALETIZADORA 1	39.600.000	9.009.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.3102	7.826
PALETIZADORA 2	39.600.000	9.009.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.3102	7.826

*MÁQUINA BLOQUEADA --> Máquina parada por falta de alimentación o acumulación a la salida

83,16

EFICIENCIA DE LA LÍNEA

*FALTA ALIMENTACIÓN--> No implica que la máquina este parada

Tabla 18. Resultados simulación Estrategia Kisters

MÁQUINAS	VELOCIDAD (uds/h)	TOTAL UDS BUENAS PRODUCIDAS	TOTAL UDS RECHAZADAS	Nº MICROPAROS	TIEMPO MÁQUINA PARADA POR MICROPAROS (h)	TIEMPO MÁQUINA BLOQUEADA(h)	FALTA DE ALIMENTACIÓN (h)	TIEMPO TOTAL TRABAJANDO (h)
CLUSTER PACK MEAD	11.160.000	71.982.000	0.000	67.000	0.550	0.000	0.000	6.450
ENJUAGADORA 1	36.000.000	215.791.000	0.000	0.000	0.000	2.000	0.005	5.999
ENJUAGADORA 2	36.000.000	217.408.000	0.000	0.000	0.000	1.901	0.059	6.098
ETIQUETADORA 1	34.980.000	214.952.000	0.000	0.000	0.000	1.589	0.111	6.410
ETIQUETADORA 2	34.980.000	214.952.000	0.000	0.000	0.000	1.589	0.111	6.410
INSPECTOR NIVEL TAPON1	34.980.000	214.932.000	21.000	0.000	0.000	1.589	0.111	6.410
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	34.980.000	214.932.000	21.000	0.000	0.000	1.589	0.111	6.410
INSPECTOR VACIO 1	36.000.000	215.575.000	216.000	92.000	0.368	1.632	0.005	5.999
INSPECTOR VACIO 2	36.000.000	217.190.000	217.000	92.000	0.368	1.533	0.059	6.098
KISTERS	3.120.000	17.992.000	0.000	257.000	1.584	0.000	0.465	6.415
LLENADORA	60.780.000	431.818.000	216.000	38.000	0.329	0.510	0.048	7.160
PASTEURIZADOR	72.000.000	431.818.000	0.000	0.000	0.000	0.468	0.468	7.531
DESPALETIZADORA	73.800.000	433.153.000	0.000	0.000	0.000	15.424	0.000	6.457
PALETIZADORA 1	39.600.000	8.998.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.338	7.826
PALETIZADORA 2	39.600.000	8.998.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.338	7.826

*MÁQUINA BLOQUEADA --> Máquina parada por falta de alimentación o acumulación a la salida

83,05

EFICIENCIA DE LA LÍNEA

*FALTA ALIMENTACIÓN--> No implica que la máquina este parada

Tabla 19. Resultados simulación Estrategia Llenadora

MÁQUINAS	VELOCIDAD (uds/h)	TOTAL UDS BUENAS PRODUCIDAS	TOTAL UDS RECHAZADAS	Nº MICROPAROS	TIEMPO MÁQUINA PARADA POR MICROPAROS (h)	TIEMPO MÁQUINA BLOQUEADA(h)	FALTA DE ALIMENTACIÓN (h)	TIEMPO TOTAL TRABAJANDO (h)
CLUSTER PACK MEAD	11.700.000	74.502.000	0.000	67.000	0.550	0.000	0.012	6.450
ENJUAGADORA 1	36.000.000	223.701.000	0.000	0.000	0.000	1.786	0.000	6.213
ENJUAGADORA 2	36.000.000	224.121.000	0.000	0.000	0.000	1.724	0.050	6.275
ETIQUETADORA 1	34.980.000	223.781.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.632	8.000
ETIQUETADORA 2	34.980.000	223.781.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.632	8.000
INSPECTOR NIVEL TAPON1	34.980.000	223.759.000	22.000	0.000	0.000	0.000	0.632	8.000
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	34.980.000	447.036.000	22.000	0.000	0.000	0.000	0.632	8.000
INSPECTOR VACIO 1	36.000.000	223.478.000	224.000	93.000	0.372	1.413	0.000	6.214
INSPECTOR VACIO 2	36.000.000	223.898.000	224.000	98.000	0.392	0.000	0.050	8.000
KISTERS	3.120.000	18.624.000	0.000	257.000	0.000	0.000	0.641	6.415
LLENADORA	60.780.000	447.563.000	224.000	73.000	0.632	0.000	0.000	7.367
PASTEURIZADOR	72.000.000	223.759.000	0.000	0.000	1.584	1.332	0.353	6.276
DESPALETIZADORA	73.800.000	9.305.000	0.000	0.000	0.000	1.366	0.000	6.633
PALETIZADORA 1	39.600.000	9.305.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.137	7.826
PALETIZADORA 2	39.600.000	445.260.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.137	7.826

*MÁQUINA BLOQUEADA --> Máquina parada por falta de alimentación o acumulación a la salida

*FALTA ALIMENTACIÓN--> No implica que la máquina este parada

85,90

EFICIENCIA DE LA LÍNEA

Tabla 20. Resultados simulación Estrategia Mead

Diseño y Desarrollo de un Laboratorio de Pruebas para el análisis de Estrategias de Mejora Continua en una Línea de Envasado

MÁQUINAS	VELOCIDAD (uds/h)	TOTAL UDS BUENAS PRODUCIDAS	TOTAL UDS RECHAZADAS	Nº MICROPAROS	TIEMPO MÁQUINA PARADA POR MICROPAROS (h)	TIEMPO MÁQUINA BLOQUEADA(h)	FALTA DE ALIMENTACIÓN (h)	TIEMPO TOTAL TRABAJANDO (h)
CLUSTER PACK MEAD	11.700.000	75.465.000	0.000	67.000	0.550	0.000	0.000	6.450
ENJUAGADORA 1	36.000.000	225.923.000	0.000	0.000	0.000	1.723	0.000	6.276
ENJUAGADORA 2	36.000.000	228.007.000	0.000	0.000	0.000	1.617	0.048	6.382
ETIQUETADORA 1	34.980.000	226.419.000	0.000	0.000	0.000	1.178	0.116	6.821
ETIQUETADORA 2	34.980.000	226.419.000	0.000	0.000	0.000	1.178	0.116	6.821
INSPECTOR NIVEL TAPON1	34.980.000	226.396.000	23.000	0.000	0.000	1.178	0.116	7.854
INSPECTOR NIVEL TAPON 2	34.980.000	453.465.000	23.000	0.000	0.000	1.178	0.116	6.821
INSPECTOR VACIO 1	36.000.000	225.697.000	226.000	95.000	0.380	1.343	0.001	6.276
INSPECTOR VACIO 2	36.000.000	227.779.000	228.000	96.000	0.384	0.145	0.048	6.382
KISTERS	3.120.000	18.864.000	0.000	257.000	1.584	0.000	0.401	6.415
LLENADORA	60.780.000	452.979.000	227.000	39.000	0.337	0.156	0.045	7.506
PASTEURIZADOR	72.000.000	226.396.000	0.000	0.000	0.000	1.233	0.282	6.821
DESPALETIZADORA	73.800.000	451.954.000	0.000	0.000	0.000	1.262	0.000	6.737
PALETIZADORA 1	39.600.000	9.440.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.051	7.826
PALETIZADORA 2	39.600.000	9.440.000	0.000	12.000	0.174	0.000	0.051	7.826

*MÁQUINA BLOQUEADA --> Máquina parada por falta de alimentación o acumulación a la salida

87,14

EFICIENCIA DE LA LÍNEA

*FALTA ALIMENTACIÓN--> No implica que la máquina este parada

Tabla 21. Resultados simulación Estrategia Mead - Llenadora

7 Conclusiones y extensiones

7.1 Conclusiones

En los últimos años las tareas de mantenimiento han cobrado una mayor importancia. La cantidad y número de recursos dedicado al mantenimiento ha crecido en la mayoría de las empresas proporcionando mejoras no solo en el sistema productivo sino que permite una optimización y reducción de costes.

El siguiente proyecto se centra en estudiar algunas de las técnicas de gestión del mantenimiento, centrándose en la técnica TPM. Además de estudiar la técnica se ha procedido a la implantación en un sistema real de envasado de cerveza. Esta fase de implantación se ha iniciado con el estudio y recopilación de información sobre el comportamiento de una línea de envasado; máquinas y transportes que la componen, así como la secuencia y función principal de cada uno de los equipos en el proceso de envasado. Posteriormente se lleva a cabo un análisis y clasificación del tipo de pérdidas existentes en los trenes de envasado y de su impacto en la producción. Tras esta primera evaluación se extraen las siguientes conclusiones:

- La existencia de una creciente complejidad e interconexión en los procesos de envasado lo que hace que las relaciones, interacciones en nuestro sistema real sean complejas y con cierto grado de incertidumbre.
- La necesidad de reducción y eliminación de las pérdidas en el proceso productivo asociadas a las operaciones relacionadas en la máquina: pérdidas por microparos, averías, cambios y ajustes, arranques y paradas, pérdidas de velocidad, defectos y retrabajo; que ocasionan pérdidas importantes de eficiencia y eficacia en la línea.

El estudio inicial realizado al sistema de envasado ha servido para denotar la necesidad de disponer de variables para la cuantificación de las pérdidas. Este problema ha sido resuelto mediante el diseño de un indicador de rendimiento operativo, OPI (Operational Performance Indicator) equivalente al existente OEE (Overall Equipment Effectiveness), indicador de la eficacia global del equipo, propio de la Metodología TPM (Maintenance Productive Total).

Estudiado y formulado las expresiones que permiten evaluar las pérdidas producidas en el sistema de envasado, se procede al desarrollo y análisis de un modelo de simulación, para obtener un mayor entendimiento del comportamiento de la línea y analizar las estrategias propuestas para la reducción de pérdidas. Se han desarrollado dos modelos: uno en CellSim, y otro en Arena Packaging. Tras el análisis y comparación de ambos modelos se extrae la conclusión siguiente:

- CellSim presenta dos limitaciones importantes para modelar una línea de envasado, por lo que el uso de dicha herramienta para este tipo de sistemas de fabricación no es adecuado:
 - La mayor problemática para modelar la Línea de Envasado con CellSim radica en que los transportes se tienen que tratar como meros acumuladores de producto estando definidos únicamente por su capacidad.

Esto implica que los transportes no desplazarán el producto de una máquina a otra, comportándose como buffers. Esta simplificación del modelo tendría sentido si en el proceso real, los transportes estuviesen siempre llenos, estando siempre disponibles unidades de producto para ser procesadas a la entrada de las máquinas, sin tener que esperar el tiempo de llegada desde la máquina anterior.

- Uno de los parámetros principales que define las máquinas en CellSim, es la *Velocidad de Procesamiento* (tiempo necesario para procesar una unidad). Las Líneas de Envasado son sistemas de fabricación de alta velocidad y elevados volúmenes, donde las tasas de procesamiento tienen lugar en las centenas, incluso miles, de entidades por minuto. Esto se traduce en velocidades de procesamiento del orden de décimas y milésimas de minutos. El grado de precisión de CellSim es inferior a estos valores incluso tomando como unidad de tiempo base “el minuto”.

Ante estas limitaciones se ha considerado la utilización de la herramienta Arena Packaging, herramienta orientada a la simulación que presenta un módulo propio para la simulación de trenes de envasado. Esta herramienta ha permitido desarrollar un modelo de simulación más completo y con mayor grado de detalle.

Un modelo de simulación no tiene validez si los resultados proporcionados no corresponden con el sistema real, por ello ha sido necesario calibrar y validar el modelo mediante la comparación con numerosas mediciones en la línea.

Una vez obtenido y disponible el laboratorio de pruebas, se ha propuesto una serie de estrategias de mejora, consecuencia de la evaluación de los resultados obtenidos tras la simulación de la situación actual de la línea. Ante los diferentes análisis se concluye:

- Se observa que la máquina con mayor nº de microparos y tiempo total de duración es la Kisters. Se propone la siguiente estrategia:

Estrategia Kisters → Reducción en un 50% el nº de microparos en la Kisters mediante un Equipo de Reducción de Microparos.

- La Llenadora es la máquina principal de una línea de envasado. Por otro lado, es la segunda máquina con mayor tiempo total de duración de microparos tras la Kisters. Se plantea:

Estrategia Llenadora → Reducción en un 50% el nº de microparos en la Llenadora mediante un Equipo de Reducción de Microparos.

Se simulan ambas estrategias y se comprueba que la eficiencia de la línea no varía prácticamente (eficiencia del 83%).

- Se concluye con ello que no siempre el aumento de la eficiencia en una máquina en concreto de la línea, a partir de la reducción de un tipo de pérdida, repercute en un aumento de la eficiencia global de la línea, no ganando ningún punto de OPI; incluso cuando a simple vista parece ser la estrategia más interesante. Ello se debe a la fuerte interacción existente entre las máquinas y transportes que componen la línea.

- Por otro lado se observa que las unidades pérdidas son despreciables frente a las unidades producidas, por lo que no es necesaria ninguna medida para la reducción de rechazos.
- En el proceso de etiquetado hay una duración total de 3 horas de parada por acumulación a la salida; y sin embargo dicho valor en la mead, máquina siguiente a las etiquetadoras, es cero. Esto, junto al resultado obtenido tras la simulación de las dos primeras estrategias, indica que la mead está bloqueando las máquinas anteriores, posiblemente por una pérdida de velocidad.

La velocidad nominal de la Mead es 12000 packs/h (72000bot/h); y la velocidad de funcionamiento actual es de 11160 packs/h. Se propone la siguiente Estrategia:

Estrategia Mead → Aumentar la velocidad de la Mead a 11700 packs/h (70200 bot/h) mediante un Equipo de Reducción de Pérdidas de Velocidad.

La Eficiencia de la línea aumenta a un 85,9 % ; lo que se traduce en una ganancia de 2,81 puntos de OPI, es decir, un OPI final del 59,3%.

- Tras la aplicación de la estrategia anterior, se comprueba que las etiquetadoras y la Llenadora ya no se paran por acumulación de botellas a la salida.

La Llenadora ya no se bloquea por acumulación a la salida, por lo que ahora es probable, que la “Estrategia Llenadora” repercuta en un aumento de la Eficiencia de la Línea.

- Se aplican ambas estrategias en conjunto: Aumento de la velocidad de la mead, y reducción del nº de microparos en la llenadora. Efectivamente la Eficiencia pasa a ser del 87,14 %; lo que se traduce en una ganancia de 4,05 puntos de OPI, es decir, un OPI final del 61,3%.

7.2 Extensiones

La herramienta de simulación desarrollada en el proyecto se ha utilizado para el aumento de la Eficiencia del tren de envasado, a través del análisis de estrategias propuestas para la reducción de pérdidas que afectan a la eficiencia.

A continuación se detallan otras posibles aplicaciones en una fase de mejora del modelo:

- Aumento de la Eficacia. Las pérdidas que engloban la eficacia son entre otras: paradas planificadas, ajustes y cambios de formato, arranques y paradas etc.
- Rediseños; por ejemplo, ajuste de velocidad de los transportes.
- Control del comportamiento de la línea.
- Adaptación a otras líneas de envasado.
- Diseño de una nueva línea de envasado.

Por otro lado se podría aumentar el grado de precisión del modelo respecto al sistema real, mediante mejoras en el modelo, como incorporación de los sensores existentes en la línea, análisis más exhaustivo de las variables estocásticas, desglose de los transportes en tramos de diferente velocidad, etc.

8 Bibliografía

- [1].** Simulation with Arena, third edition; W.David Kelton, Randall P. Sadowski y David T. Sturrock. Mc Graw Hill.
- [2].** Arena Packaging; Forward Visibility for Your Business; Rockwell Software, User's Guide.
- [3].** Simulación de Eventos Discretos. Ignacio Eguia Salinas, Jesús Racero Montero, y David Canca Ortiz.
- [4].** Ingeniería de Mantenimiento. Técnica y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos. Adolfo Crespo Márquez, Antonio Sánchez Herguedas y Pedro Moreu de León.
- [5].** Documentación Curso de Iniciación a la Mecánica Básica. Dirección de Formación y Desarrollo. G&M Ingeniería.
- [6].** Maquinaria de Envasado. Level Center.
- [7].** Documentación Curso de Envasado. Kisters, Llenadoras y Etiquetadoras. Dirección de Formación y Desarrollo. Proelan.
- [8].** OPL's Paletizadora y Despaletizadora. G&M Ingeniería.
- [9].** Documentación Curso Facilitadores TPM. Efeso.
- [10].** Documentación Curso Pilar Calidad Progresiva (TPM). Efeso.