

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA**

Ingeniería Técnica Industrial: Especialidad Electrónica Industrial

MODELADO DE LA LÓGICA DE ACUMULACIÓN DE PRODUCTO EN UNA LÍNEA DE ENVASADO

**Darío Pozo Pozo
Jordi Ayza Graells**

TARDOR 2011



**TecnoCampus
Mataró-Maresme**

Agradecimientos

En primer lugar quisiera agradecer a mis padres, porque son ellos quien saben orientarme y sus consejos siempre me han ayudado a elegir lo mejor para mí. Y por supuesto a mi hermano por aportarme sus conocimientos, experiencias y críticas... gracias por vuestra confianza en mí.

A Jordi Ayza, mi ponente, la oportunidad que me ha brindado para realizar este proyecto y aprender de él.

A la empresa Procter&Gamble y su departamento de envasado de jabón líquido en Mataró, encabezado por Paulo Alves y Sergio Cartagena, por darme la oportunidad de verificar la viabilidad de este proyecto en una de sus líneas de producción además de su inestimable ayuda a cualquier hora del día.

A todos mis profesores, desde el colegio hasta la universidad.

A mi pareja, Noa, porque su apoyo durante toda la carrera ha sido muy importante para llegar hasta aquí.

A todos mis compañeros y amigos de la universidad, sobre todo a Álex, Sergi, Guillem y Carles, porque sin todos vosotros, vuestros resúmenes, vuestros consejos, y vuestra ayuda seguro que no estaría escribiendo estas líneas.

Y todos mis amigos desde la infancia, Carlos, Xevi, José, Javier, Chema... y a todos los demás que siempre estáis ahí.

Gracias

Resumen del proyecto

La meta propuesta en la elaboración de este proyecto para la industria de manufactura consiste en el desarrollo y posterior documentación de una solución tecnológica óptima para gestionar la lógica de acumulación de producto en líneas automáticas de envasado a partir de su modelado.

Partiendo de un estudio inicial se plantea el modelo de comportamiento y se verifica la viabilidad de su utilización para la determinación de los correspondientes parámetros del control a implementar en una línea de envasado de botellas real con cuatro formatos diferentes de botellas. El proyecto describe todo el proceso realizado, cumpliendo con la expectativas y requerimientos de la empresa en lo que ha pérdida de rentabilidad de la línea por problemas de acumulación se refiere.

Resum del projecte

La meta proposada en l'elaboració d'aquest projecte per la industria de manufactura consisteix en el desenvolupament i posterior documentació d'una solució tecnològica òptima per gestionar la lògica d'acumulació de producte en línies automàtiques d'envasat a partir de su modelización.

Partint d'un estudi inicial es planteja el model de comportament i es verifica la viabilitat de la seva utilització per a la determinació dels corresponents paràmetres de control a implementar en una línia d'envasat d'ampolles real amb quatre format d'ampolles diferents. El projecte descriu tot el procès realitzat, complint amb les expectatives i requeriments de l'empresa en el que a pèrdua de rendibilitat de la línia per problemes d'acumulació es refereix.

Project's abstract

The objective of this project for the manufacturing industry consists of the development and later documentation of an optimal technology solution to manage the logic of products accumulation for a semi-automatic packing line from their modeling.

Starting for an initial study the behavior model is posed and the feasibility of its deployment is verified to determine the corresponding control parameters to be implemented in a real packing line with four different bottle sizes capability. The project describes all the process, achieving finally the expected results and requirements of the business especially in terms of line efficiency issues related to products accumulation.

Índice

Resumen del proyecto	3
Resum del projecte	3
Project's abstract	5
Índice de figuras	V
Índice de tablas	IX
1 Introducción	1
1.1 Motivación personal	2
1.2 Descripción del proyecto	3
2 Objetivos	7
2.1 Objetivos del proyecto	7
2.2 Objetivos personales	8
3 Especificaciones de máquinas.....	11
3.1 Botellas vacías	11
3.1.1 Despaletizador.....	12
3.1.2 Orientador de botellas	12
3.1.3 Etiquetadora de botellas	13
3.2 Botellas llenas	14
3.2.1 Llenadora.....	14
3.2.2 Pesadora	15

II

3.2.3	Empacador de botellas.....	16
3.3	Transportadores	16
3.3.1	Zona 1: Lógica fotocélulas	18
3.3.2	Zona 1: Velocidades	19
3.3.3	Zona 2: Lógica fotocélulas	20
3.3.4	Zona 2: Velocidades	21
3.3.5	Zona 3: Lógica fotocélulas	22
3.3.6	Zona 3: Velocidades	23
4	Modelado de la acumulación del producto	25
4.1	Estados de los equipos	25
4.1.1	Estado run.....	25
4.1.2	Estado fail.....	26
4.1.3	Estado block	26
4.1.4	Estado starve.....	27
4.2	Estado de las fotocélulas de detección de acumulaciones	27
4.2.1	Fotocélula Starve	28
4.2.2	Fotocélula Block.....	30
4.2.3	Determinación de los parámetros de control de estado	32
5	Aplicación del modelado	39
5.1	Botella de 2 litros.....	39
5.1.1	Zona 1.....	40
5.1.2	Zona 2.....	43

5.1.3	Zona 3.....	46
5.2	Botella de 2'5 Litros	50
5.3	Botella de 3 Litros.....	52
5.4	Botella de 3'25 Litros	54
6	Prueba dinámica del modelado	57
6.1	Introducción	57
6.2	Pruebas de la aplicación del modelado	57
6.2.1	Código: FDBU (Fail Downstream Block Upstream)	58
6.2.2	Código: RDSB (Reinicio Downstream Starve Downstream)	59
6.2.3	Código: RDBU (Reinicio Downstream Block Upstream)	60
6.2.4	Código: FUSD (Fallo Upstream Starve Downstream).....	61
6.2.5	Código: RUBU (Reinicio Upstream Bloqueo Upstream)	62
6.2.6	Código: RUSD (Reinicio Upstream Starve Downstream)	63
6.3	Resultados de las pruebas en la línea de producción real	64
7	Conclusiones	77
8	Impacto ambiental.....	79
9	Referencias.....	81
9.1	Bibliografía	81

Índice de figuras

Figura 1.1. Logotipo de Procter&Gamble	3
Figura 1.2. División del proceso productivo de la línea de envasado.	4
Figura 3.1, Sinóptico de la zona de botellas vacías	11
Figura 3.2, Croquis del despaletizador	12
Figura 3.3, Croquis del orientador de botellas.....	13
Figura 3.4, Croquis de la etiquetadora de botellas	14
Figura 3.5, Sinóptico de la zona de botellas vacías	14
Figura 3.6, Croquis de la llenadora.....	15
Figura 3.7, Croquis de la pesadora	16
Figura 3.8, Croquis del empacador de botellas	16
Figura 3.9, Lógica de fotocélulas en zona 1, botellas vacías.....	18
Figura 3.10, Velocidades de transportadores en zona 1, botellas vacías.....	19
Figura 3.11, Lógica de fotocélulas en zona 2, botellas vacías.....	20
Figura 3.12, Velocidades de transportadores en zona 2, botellas vacías.....	21
Figura 3.13, Lógica de fotocélulas en zona 2, botellas vacías.....	22
Figura 3.14, Velocidades de transportadores en zona 3, botellas llenas.	23
Figura 4.1, Estado run.	25
Figura 4.2, Estado fail.	26
Figura 4.3, Estado block.	26

Figura 4.4, Estado starve.	27
Figura 4.5, Fotocélulas de control de estado de un equipo.	27
Figura 4.6, Altura de la fotocélula respecto la botella.	28
Figura 4.7, Situación fotocélula reinicio.	29
Figura 4.8, Diagrama de cambio de estado de la estación a partir de la fotocélula starve..	30
Figura 4.9, Diagrama de cambio de estado de la estación a partir de la fotocélula block. .	32
Figura 4.10, Tiempo espera llegada de primera botella a FT Starve.	36
Figura 4.11, Tiempo espera llegada botella de FT block a FT Starve.	37
Figura 4.12, Altura de la fotocélula de reinicio respecto la botella.	38
Figura 5.1, Formato de las botellas.	39
Figura 5.2, Anchura de la botella de 2 litros.	39
Figura 5.3, Distancias en Zona 1.	40
Figura 5.4, Distancias en Zona 2.	43
Figura 5.5, Distancias en Zona 3.	46
Figura 5.6, Resultado de estado block en llenadora.	48
Figura 5.7, Anchura de la botella de 2'5 litros.	50
Figura 5.8, Anchura de la botella de 3 litros.	52
Figura 5.9, Anchura de la botella de 3'25 litros.	54
Figura 6.1. FDBU, Fallo Downstream Block Upstream	58
Figura 6.2. RDSD, Reinicio Downstream Starve Downstream	59
Figura 6.3. RDBU, Reinicio Downstream Block Upstream	60

Figura 6.4. FUSD, Fallo Upstream Starve Downstream 61

Figura 6.5. RUBU, Reinicio Upstream Block Upstream 62

Figura 6.6. RUSD, Reinicio Upstream Starve Downstream 63

Índice de tablas

Tabla 5.1, Parámetros de trabajo para la botella de 2 Litros.	40
Tabla 5.2, Parámetros de trabajo compartidos.	40
Tabla 5.3, Parámetros de trabajo para la botella de 2'5 Litros.....	50
Tabla 5.4, Resultado de la aplicación del modelo para la botella de 2'5 Litros.....	51
Tabla 5.5, Parámetros de trabajo para la botella de 3 Litros.	52
Tabla 5.6, Resultado de la aplicación del modelo para la botella de 3 Litros.	53
Tabla 5.7, Parámetros de trabajo para la botella de 3'25 Litros.....	54
Tabla 5.8, Resultado de la aplicación del modelo para la botella de 3'25 Litros.....	55
Tabla 6.1, Resultados para la botella de 2 litros en el tramo Orientador-Etiquetadora.....	64
Tabla 6.2, Resultados para la botella de 2 litros en el tramo Etiquetadora-Llenadora.....	65
Tabla 6.3, Resultados para la botella de 2 litros en el tramo Llenadora-Empacador.	66
Tabla 6.4, Resultados para la botella de 2'5 litros en el tramo Orientador-Etiquetadora. ..	67
Tabla 6.5, Resultados para la botella de 2'5 litros en el tramo Etiquetadora-Llenadora.....	68
Tabla 6.6, Resultados para la botella de 2'5 litros en el tramo Llenadora-Empacador.....	69
Tabla 6.7, Resultados para la botella de 3 litros en el tramo Orientador-Etiquetadora.....	70
Tabla 6.8, Resultados para la botella de 3 litros en el tramo Etiquetadora-Llenadora.....	71
Tabla 6.9, Resultados para la botella de 3 litros en el tramo Llenadora-Empacador.	72
Tabla 6.10, Resultados para la botella de 3'25 litros en el tramo Orientador-Etiquetadora.	73
Tabla 6.11, Resultados para la botella de 3'25 litros en el tramo Etiquetadora-Llenadora.	74

X

Tabla 6.12, Resultados para la botella de 3'25 litros en el tramo Llenadora-Empacador. . 75

1 Introducción

En la actualidad vivimos en una sociedad cada vez más industrializada. Gracias a los nuevos avances tecnológicos, las empresas destinan gran parte de sus inversiones en la integración de sistemas hardware y software con la finalidad de mejorar sus sistemas productivos.

De la constante adaptación de los procesos industriales a las nuevas tecnologías surge la posibilidad de recurrir al uso de automatismos avanzados, con los que se logra una reducción considerable de los costes y un incremento en la calidad del proceso productivo, aumentando el nivel competitivo de la empresa en el sector.

Este factor, unido a la gran competencia surgida a raíz de la mundialización de la economía, ha convertido la automatización en una herramienta de mejora empresarial imprescindible para todas las industrias que deseen competir en este nuevo mercado global.

La integración de estos sistemas de control requiere del uso indispensable de dispositivos programables capaces de gestionar las señales del proceso productivo a tiempo real.

Como solución a estas necesidades tecnológicas, las empresas recurren principalmente al uso de autómatas, o PLCs (*Programmable Logic Controllers*), con la finalidad de sustituir los anticuados sistemas de lógica combinacional cableada por equipos electrónicos de lógica programada que permitan la gestión de señales de naturaleza analógica o digital. La gran ventaja de los autómatas respecto a los anteriores sistemas reside en la capacidad de éstos para realizar operaciones aritméticas, muy utilizadas en tratamientos de regulación y control, al mismo tiempo que la integración de lenguajes de programación sencillos como el *ladder* permite que operarios poco experimentados puedan programar sin mucha dificultad.

Con la utilización de estas herramientas citadas anteriormente y que contienen infinidad de soluciones en el ámbito industrial, el presente documento pretende resolver un problema muy común en líneas de envasado multiformato y que actualmente se está dando en la planta de Procter&Gamble en Mataró con la instalación de una nueva línea de producción.

Este problema consiste en el control de la acumulación de los envases (llenos de producto o no) que circulan por los diferentes tramos de transportadores que unen las estaciones de trabajo cuando en alguna de estas estaciones se produce una parada en su funcionamiento normal. Optimizando la acumulación y desacumulación de los envases en los tramos que unen cada par de máquinas en la línea de envasado, se logra que el número de paradas en las máquinas sea menor y el tiempo medio entre paradas disminuye, así como la seguridad de que no se producirán desperfectos en éstas debido a una cola demasiado larga de envases que acabe entrando en el equipo. Estos parámetros repercuten directamente en la fiabilidad de la línea, pues son claves para disminuir el número de paradas de las máquinas y conseguir un menor tiempo entre paradas.

Hoy en día, la solución a este problema supone un largo proceso de prueba y error que se debe repetir para cualquier formato de botella que se vaya a envasar, provocando una carga extra de trabajo y meses de dedicación que puede ser reducido considerablemente.

Así, el proyecto pretende dar la solución al problema mediante el modelado de éste y la correspondiente verificación de la viabilidad de su utilización en una línea de envasado de botellas real con cuatro formatos diferentes de botellas como la que P&G tiene instalada en su planta de Mataró.

1.1 Motivación personal

Fruto del interés personal por la industria y la automatización de sistemas integrales surge la motivación para realizar este proyecto, en el que se describe la solución e implementación a un problema de automatización completamente real.

Esta atracción por los procesos de fabricación y las grandes aplicaciones en autómatas me ha llevado a compaginar desde el inicio la teoría adquirida en la universidad con la experiencia profesional en una empresa de nivel mundial.

El proyecto que se describe en esta memoria es el proceso y resultado académico-profesional de una solución real que ha sido aplicada en el nuevo departamento de envasado botellas en la empresa multinacional de bienes de consumo Procter&Gamble en la que actualmente trabajo, por lo que la entrega de este proyecto supone una muestra de logro personal, tanto en el ámbito profesional como educativo, ya que el proyecto en sí se

puede definir como una fusión de los conocimientos adquiridos en la universidad y en el trabajo y, por lo tanto, representa el fruto de mi dedicación lectiva y laboral hasta el día de hoy.



Figura 1.1. Logotipo de Procter&Gamble

1.2 Descripción del proyecto

El presente documento muestra el desarrollo del proyecto llevado a cabo para realizar la optimización y modelado de la lógica de acumulación de producto en una línea de envasado de botellas y la viabilidad de su utilización en un modelo real.

El origen del proyecto surge a raíz de la construcción de una nueva línea de envasado de botellas en la planta de producción que Procter&Gamble tiene en la ciudad de Mataró (Barcelona).

Esta línea de envasado de botellas se puede separar en 2 zonas distintas que dividen el proceso productivo y donde se ubican las diferentes máquinas que componen estas zonas: botellas vacías y botellas llenas.

A continuación se muestra un diagrama que representa estas dos zonas de la producción:

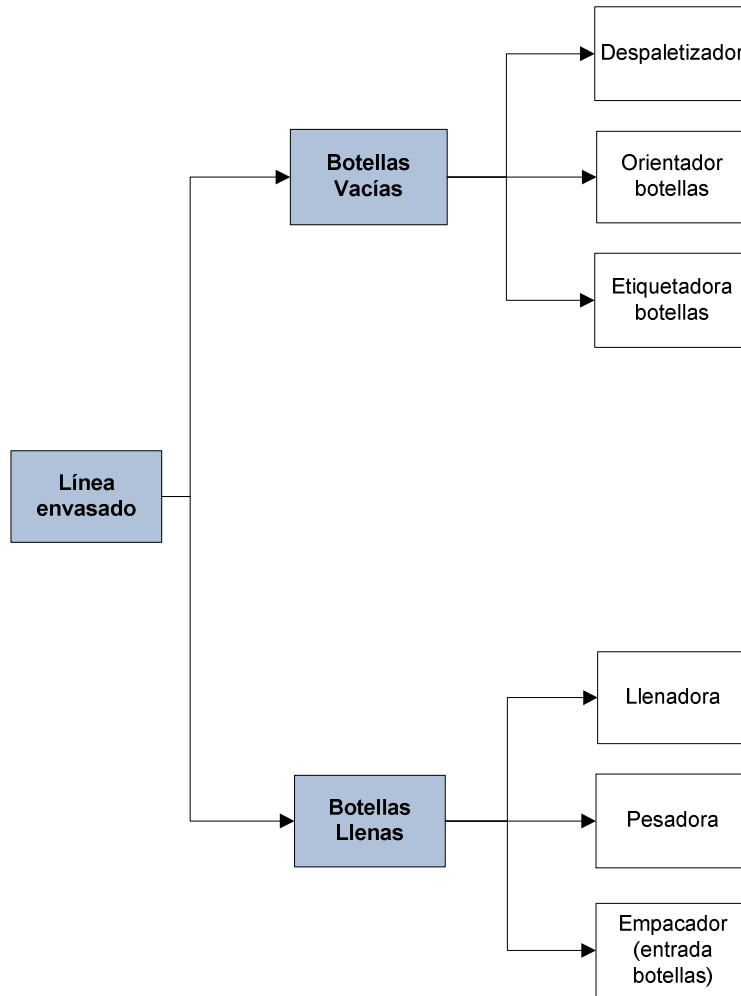


Figura 1.2. División del proceso productivo de la línea de envasado.

En la primera zona se encuentran aquellos equipos que trabajan con botellas vacías. Las botellas son suministradas en palés compuestos por varios pisos de botellas. Estos palés son introducidos en el despaletizador que se encarga de empujar estas botellas a una tolva de acumulación. Estas botellas circulan mediante transportadores hacia el orientador, equipo que, como su nombre indica, tiene la función de colocar una a una las botellas en una orientación determinada. Estas botellas son transportadas al equipo de etiquetado donde se le coloca la etiqueta con la marca asociada al producto envasado y que facilitará al consumidor final la identificación del mismo.

En la zona de botellas llenas, el primer equipo que se encuentra la llenadora. Aquí, las botellas provenientes de la etiquetadora son rellenas con el producto correspondiente, en

nuestro caso jabón líquido para el lavado automático de ropa. Una vez salen de la llenadora, pasan por un control de peso y son introducidas en cajas por el empacador.

Ya en la última zona, la formadora de cajas se encarga de suministrar las cajas necesarias al empacador de modo que éste último pueda introducir las botellas en ellas y ser evacuadas hacia la selladora para su correcto cerrado antes de ser colocadas en palés por el paletizador.

De este modo, el presente proyecto se centra en la respuesta que ofrece la línea cuando en una máquina se produce una parada en su funcionamiento y cómo reaccionan las estaciones de trabajo que le preceden y/o le siguen en el sistema así cómo optimizar estos tiempos de arrancada y parada para que la línea vuelva a su flujo constante de trabajo y afecte de la manera menos negativa posible en la fiabilidad de la línea.

Todas las características de las diferentes estaciones de trabajo se describen más detalladamente en el Capítulo 3.

2 Objetivos

Para llevar a cabo el proyecto ha sido necesario establecer una serie de objetivos que han determinado las tareas a realizar. Mediante la planificación y resolución de dichas tareas se ha obtenido el resultado final del proyecto, que no se ha dado por concluido hasta cumplir con todos los objetivos marcados.

La motivación por desarrollar el proyecto no se basa únicamente en atender las pretensiones sobre los resultados de fiabilidad establecidas por la empresa sino que también hay que considerar un determinado conjunto de objetivos o logros personales y académicos que representan la parte formativa de éste y determinan en gran parte la satisfacción personal de saber que el trabajo realizado ha aportado nuevos conocimientos y aptitudes.

Es por ello que la determinación de los objetivos a resolver en el proyecto se pueden dividir en dos ámbitos distintos: por un lado están los objetivos del proyecto y por otro los objetivos personales.

2.1 Objetivos del proyecto

Establecer una metodología de cálculo que permita modelar cualquier línea de envasado y, en este caso en concreto, adaptada a las necesidades y especificaciones de P&G en Mataró. Esta metodología debe permitir determinar de una manera sencilla y eficaz las variables o parámetros del algoritmo de control de la línea para adaptarlos a un comportamiento óptimo que minimice las pérdidas de productividad motivadas por paros en cualquier estación de trabajo de la línea. Esta metodología está condicionada por un factor a tener en cuenta como es el tratarse de una línea multiformato en la cual se trabaja con 4 tipos de botellas diferentes que pueden albergar diferentes volúmenes de producto y que tienen un comportamiento totalmente diferente entre ellas.

Completado el modelado, se procede a verificar su correcto funcionamiento aplicándola en una línea de envasado de botellas real en la ya mencionada planta de producción de Procter&Gamble en Mataró.

El establecimiento de estos objetivos define un conjunto de tareas de obligado cumplimiento para lograr la satisfacción de la empresa y sobre todo para que el proyecto se pueda llevar a cabo. Dichas tareas consisten en:

- Realizar un estudio exhaustivo del diagrama de proceso de la línea y determinar el funcionamiento individual y la interacción en conjunto de todas las máquinas que la forman.
- Ser consciente de las especificaciones y limitaciones de los diferentes equipos.
- Conocer los diferentes tipos de paradas que se pueden producir en un equipo y cómo afecta a las máquinas vecinas en el sistema estas paradas.
- Conocer las principales diferencias entre los distintos formatos de botellas que se van a producir y prevenir posibles problemas en la colocación de fotocélulas o definición de tiempos debido a esto.
- Saber cómo afecta las posibles colocaciones de las diferentes fotocélulas que conforman el funcionamiento lógico de acumulación de producto de la línea.
- Atacar las diferentes necesidades que ofrezca la línea para cumplir con los requisitos que pide la empresa.

2.2 Objetivos personales

Como objetivos personales definimos aquellos que han servido para adquirir nuevas aptitudes. Entre esta serie de logros podemos destacar un conjunto que personalmente han determinado la aportación de conocimientos muy importantes sobre la industria y de gran utilidad para el futuro, a los que les he dado una especial relevancia por haberlos resuelto por medio del autoaprendizaje y/o el trabajo en equipo. Éstos son:

- Aprender a plantear y planificar un proyecto desde su origen.
- Cumplir con las fechas establecidas en la planificación.
- Comprender el funcionamiento de la maquinaria para poner en marcha una línea de envasado de botellas.
- Entender el proceso de producción que se realiza en una industria de envasado de jabón líquido para lavadoras.
- Comprender como redactar una memoria académica que resuma el desarrollo del proyecto.

El cumplimiento específico de cada una de las tareas nombradas ha sido necesario para adquirir nuevos conocimientos y aptitudes, aunque en el fondo todas ellas forman parte de un gran objetivo personal y seguramente el de muchos estudiantes que se encuentran en esta misma situación actualmente: demostrar que se dispone de las aptitudes necesarias para la consecución del diploma de ingeniero técnico industrial, lo que implica capacidad de autoaprendizaje, organización y constancia para sortear obstáculos que se presentan durante el desarrollo de un proyecto real.

Por último no hay que olvidar los objetivos académicos de obligado cumplimiento para realizar una correcta memoria y exposición del proyecto. Dichos objetivos son:

- Planificar la redacción de la memoria y establecer un índice.
- Desarrollar una introducción, objetivos y especificaciones del proyecto.
- Describir el funcionamiento de la línea de envasado y los diferentes equipos que la componen.
- Presentar las herramientas de trabajo.
- Documentar el estudio y los problemas encontrados durante el periodo de pruebas así como las soluciones implementadas en estos casos.
- Documentar la implementación de este estudio realizado en la adaptación a otra línea de envasado preparada para otros formatos de botellas mucho más grandes.
- Redactar una conclusión y valoración final del proyecto.

3 Especificaciones de máquinas

Para realizar el modelado de la línea es de vital importancia establecer los diferentes elementos i estaciones de trabajo que la conforman, haciendo especial hincapié en aquellos elementos que influyen en las incidencias que se ocasionan y que dan lugar a pausas, paradas o arrancadas que inciden en el tiempo que tarda la línea en alcanzar de nuevo la velocidad nominal de trabajo. El comportamiento de estos elementos en la línea debe también garantizar también la integridad de los componentes de los equipos de trabajo así como los envases.

A continuación se detalla para las dos zonas de trabajo, zona de botellas vacías y zona de botellas llenas, y para los transportadores las características y funcionamiento de cada equipo y los principales variables de control que más adelante se deberán tener en cuenta para su modelizado.

3.1 Botellas vacías

Engloba las dos primeras zonas de la cadena de producción y es donde se encuentran aquellos equipos que trabajan con botellas vacías. Esta zona está formada por tres estaciones de trabajo comunicadas entre ellas por transportadores: despaletizador, orientador de botellas y etiquetadora.

El siguiente sinóptico representa el proceso de esta zona:

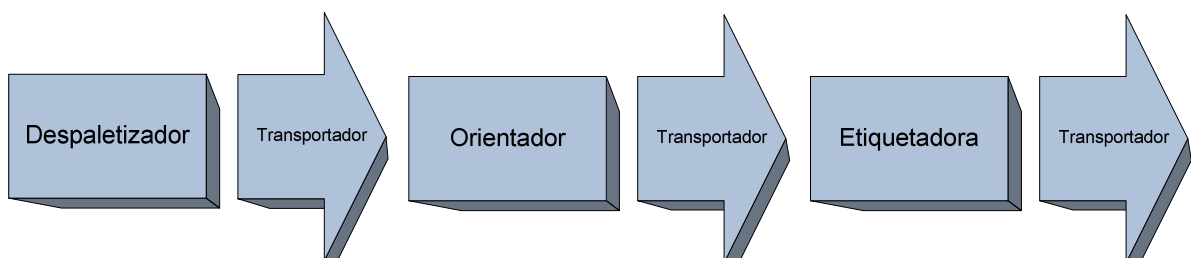


Figura 3.1, Sinóptico de la zona de botellas vacías

3.1.1 Despaletizador

Se trata del primer equipo en el proceso. Se suministran palés formados por varios pisos de botellas que son introducidos por el operador en un elevador. Una vez dentro del elevador, los pisos son desmantelados automáticamente mediante un empujador de recorrido horizontal provocando que las botellas caigan en una tolva de acumulación desde donde son transportadas al orientador de botellas.

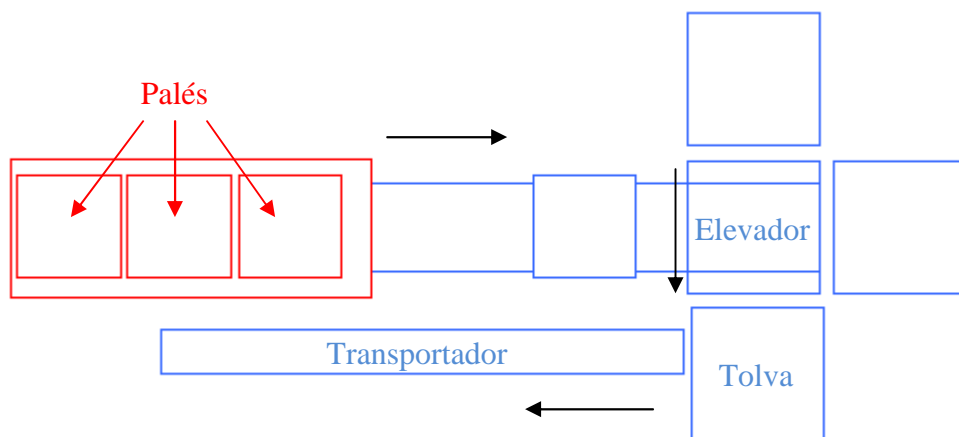


Figura 3.2, Croquis del despaletizador

3.1.2 Orientador de botellas

El orientador de botellas está formado por dos partes: el disco giratorio y el sistema de correas. Las botellas que provienen del despaletizador van cayendo al disco giratorio con un flujo de llegada que depende de las botellas que circulan por el transportador. Una vez dentro del disco y gracias a la inercia del movimiento circular, las botellas se van depositando horizontalmente en un hueco que las arrastra al sistema de correas. Las correas se encargan de levantar cada botella y de colocarlas en la orientación correcta, de manera que cuando salen del equipo todas tienen el mismo sentido. De este modo, la cantidad de botellas por minuto que proporciona no es constante sino que varía según la cantidad de botellas que tenga el disco: a más cantidad, más botellas orientadas.

Uno de los factores a tener en cuenta en este equipo es que el disco no debe estar saturado de botellas ya que de ser así puede provocar daños en sus componentes. Otra razón por la que esto no es conveniente es porque hacer que el equipo siempre trabaje a su máxima capacidad provoca saturación a la salida (transportador de salida lleno de botellas), haciendo que la máquina arranque y pare constantemente, pudiendo ocasionar daños en los motores u otros componentes.

Desde el panel view del equipo es posible variar las velocidades de los transportadores de entrada de botellas al disco y la velocidad de giro de éste, velocidad de giro de las diferentes correas, velocidad del transportador de salida así como muchos otros parámetros que se podrán utilizar para la consecución de nuestro objetivo.

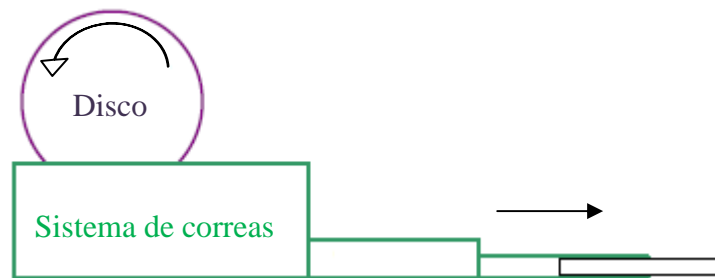


Figura 3.3, Croquis del orientador de botellas

3.1.3 Etiquetadora de botellas

La etiquetadora es la última máquina en la zona de botellas vacías. Este equipo se encarga de colocar una etiqueta en cada uno de los paneles laterales de la botella para su correcta identificación e informar al consumidor de la marca comercial, peso, materias para su fabricación y otros factores de carácter informativo.

Se trata de una máquina de funcionamiento lineal con cabezales de etiquetado a cada lado de éste y en la que la velocidad de trabajo es constante. Las botellas circulan por un transportador y se les aplica la etiqueta cuando pasan por el cabezal. Si se detecta que una etiqueta está mal colocada o una botella no lleva etiqueta después de su paso por los cabezales, ésta es extraída del transportador por un sistema de rechazo.

Además de los parámetros propios para el correcto etiquetado de la botella, es posible variar la velocidad de trabajo del equipo, así como los umbrales de trabajo de los temporizadores que activan las diferentes fotocélulas y que deberemos tener en cuenta.

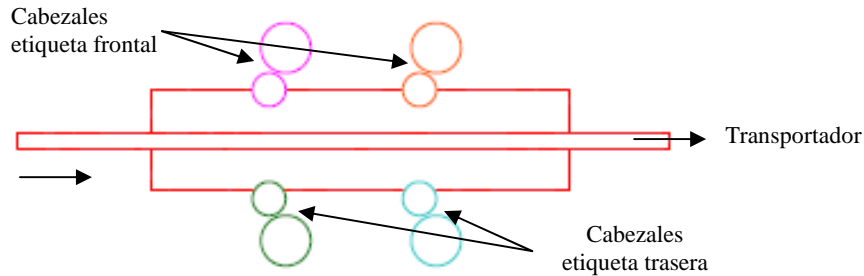


Figura 3.4, Croquis de la etiquetadora de botellas

3.2 Botellas llenas

Es la siguiente zona en la cadena de producción y donde se ubican aquellos equipos que trabajan con botellas llenas de producto. Esta zona está formada por tres estaciones de trabajo que, al igual que en la zona de botellas vacías, están comunicadas entre ellas por transportadores. La componen llenadora, pesadora y empacador de botellas.

El siguiente sinóptico representa el proceso de esta zona:

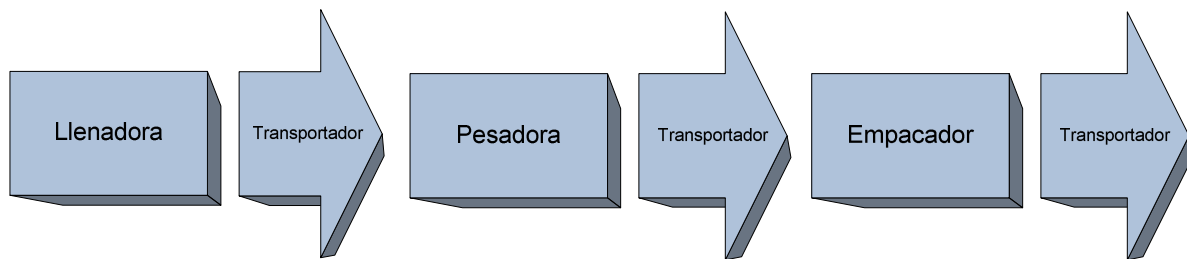


Figura 3.5, Sinóptico de la zona de botellas vacías

3.2.1 Llenadora

Se trata de la máquina más importante de toda la línea de producción y la que marca el ritmo de trabajo de las demás. Está compuesta por dos fases: el llenado y el taponado. En ella las botellas que provienen de la etiquetadora van siendo introducidas de manera continua e individualmente en un carrusel de llenado que se encarga de rellenar de

producto el envase. Una vez llenas entran por a un carrusel de taponado y de forma automática se les coloca un tapón previamente orientado en el sentido correcto para cerrarlas y salen por un transportador de salida. Si el equipo detecta que alguna botella no lleva el peso establecido o no se le ha colocado tapón, la botella es rechazada por un carril independiente y paralelo al de salida.

La velocidad de trabajo depende del formato de botella que se vaya a envasar, siendo superior para las dos botellas de menor tamaño que para las dos de tamaño superior. Además de para no dañar los componentes del equipo, es muy importante que este equipo tenga un ritmo de trabajo constante y tenga el mínimo número de paradas posible, ya que de ir arrancando y parando constantemente, las botellas pueden no llevar el peso correcto, lo que provocaría un gran número de producto no válido para su venta, coste para la empresa y una carga extra de trabajo para el operario.

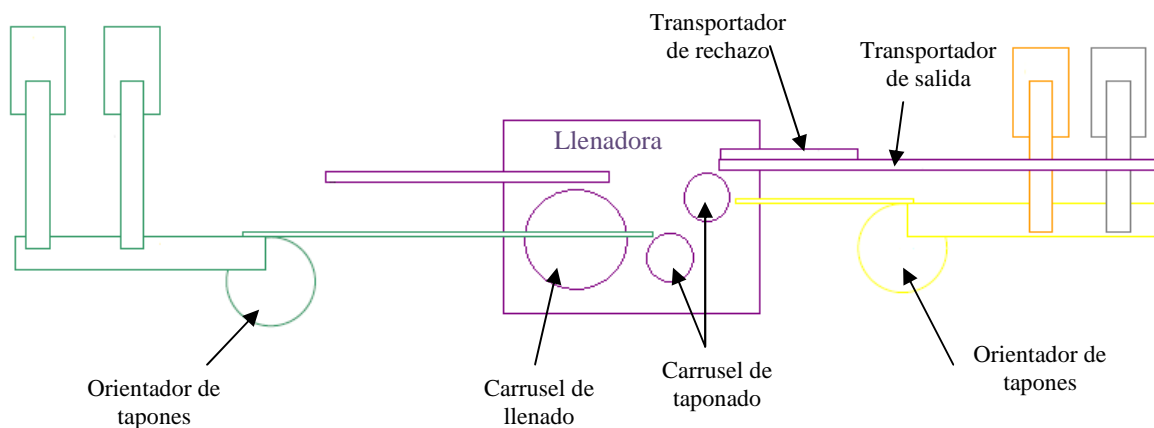


Figura 3.6, Croquis de la llenadora

3.2.2 Pesadora

Es el equipo encargado de la verificación del peso de cada botella producida. Cada botella que sale de la llenadora pasa por una cinta de pesaje de manera individual. Si el peso es válido para su comercialización, sigue su camino hacia el empacador. Si en cambio el peso no es correcto, da la orden de ser rechazada a un carril de rechazo paralelo al de botellas válidas.

Este equipo tiene la característica de no poderse quedar con ninguna botella en las cintas transportadoras que componen el equipo (cinta separadora, cinta de pesado y cinta

intermedia) en el caso de producirse una parada en la estación de trabajo inmediatamente siguiente en el proceso.

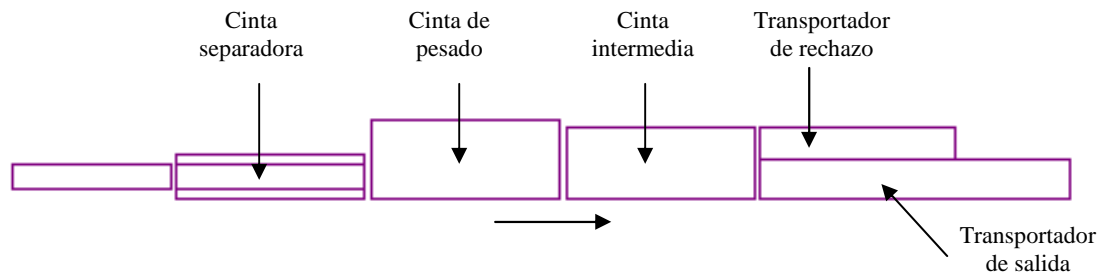


Figura 3.7, Croquis de la pesadora

3.2.3 Empacador de botellas

El empacador de botellas es el último equipo en el proceso que trabaja con botellas. Está compuesto por dos transportadores paralelos separados por un brazo que sujeta e introduce las botellas en cajas. Por uno de estos transportadores circulan las botellas y por el otro las cajas donde se introducirán éstas. Las botellas provenientes de la llenadora y previa verificación de su peso van llegando al equipo y son introducidas en cajas por un brazo en cantidades que dependen del formato de la botella y del tipo de caja. Una vez dentro de las cajas, salen del equipo hacia la selladora para su correcto cerrado.

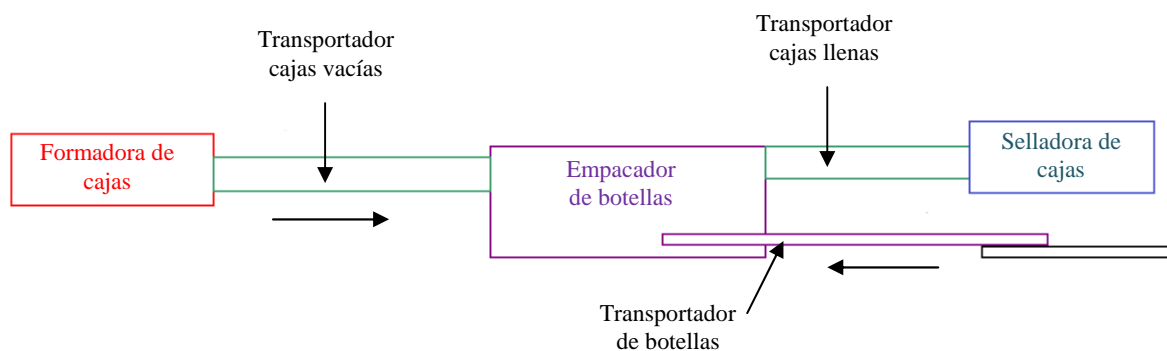


Figura 3.8, Croquis del empacador de botellas

3.3 Transportadores

Los transportadores tienen la función de trasladar las botellas entre estaciones de trabajo. Cada tramo de transportador entre equipos tiene un motor independiente con una velocidad constante. Así, es en los transportadores es donde se ubican las fotocélulas que darán las

señales a sus temporizadores y/o contactores para que actúen con lo establecido en su programación. Las siguientes figuras muestran, de una manera lineal, la colocación y función de las fotocélulas en los transportadores y la velocidad de los transportadores para cada una de las dos zonas detalladas anteriormente.

Nótese en la nomenclatura utilizada que los transportadores están referidos por un número de zona seguido del número de motor de cada transportador. Así, el transportador M1.2 se referirá al transportador de la zona 1 accionado por el motor 2. Una nomenclatura similar se utiliza para referirse a la localización de las diferentes fotocélulas ubicadas en estos transportadores. Así, la fotocélula FT1-M1.2 se referirá a la fotocélula 1 en el transportador de la zona 1 accionado por el motor 2.

3.3.1 Zona 1: Lógica fotocélulas

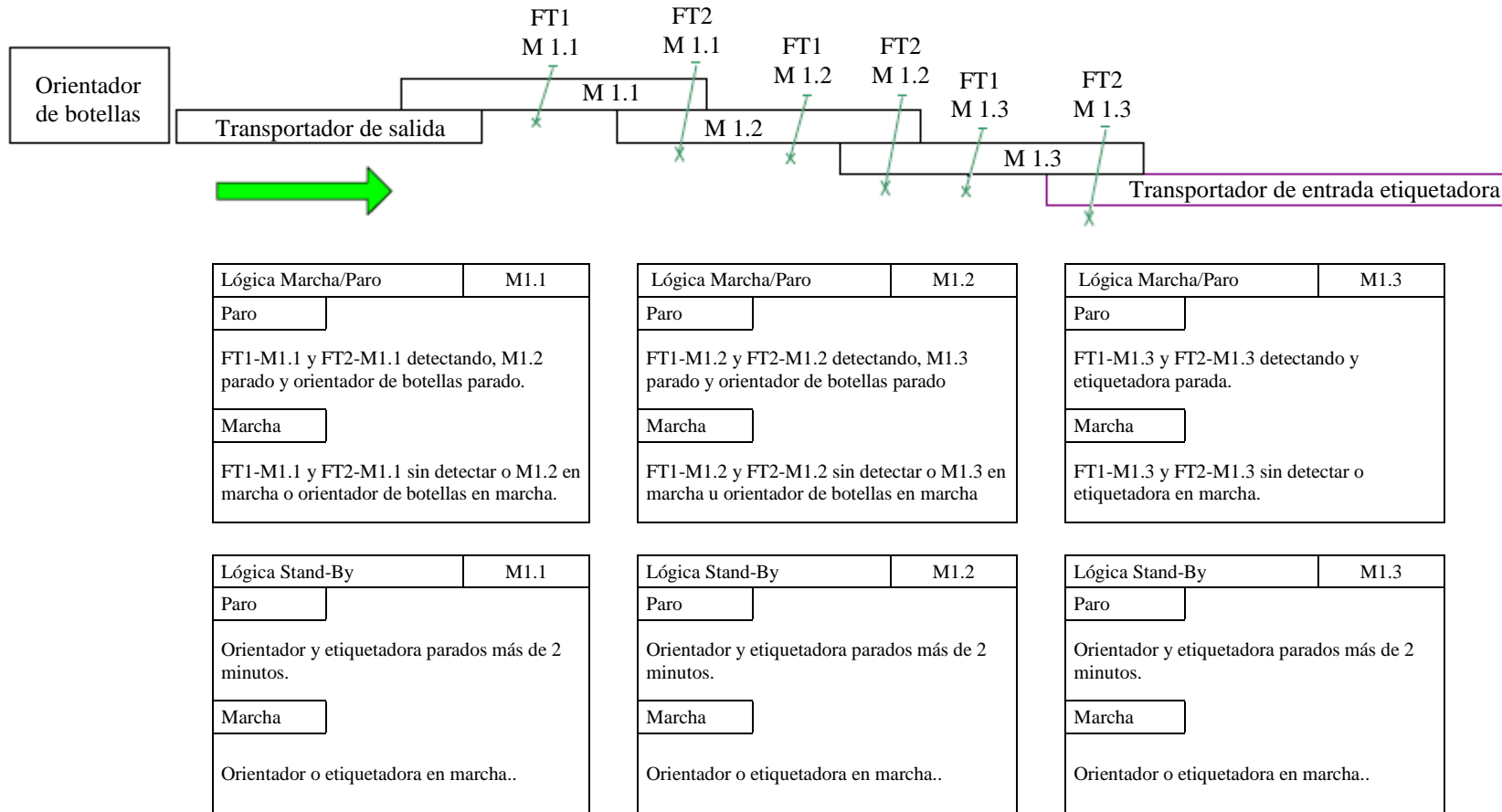


Figura 3.9, Lógica de fotocélulas en zona 1, botellas vacías.

3.3.2 Zona 1: Velocidades

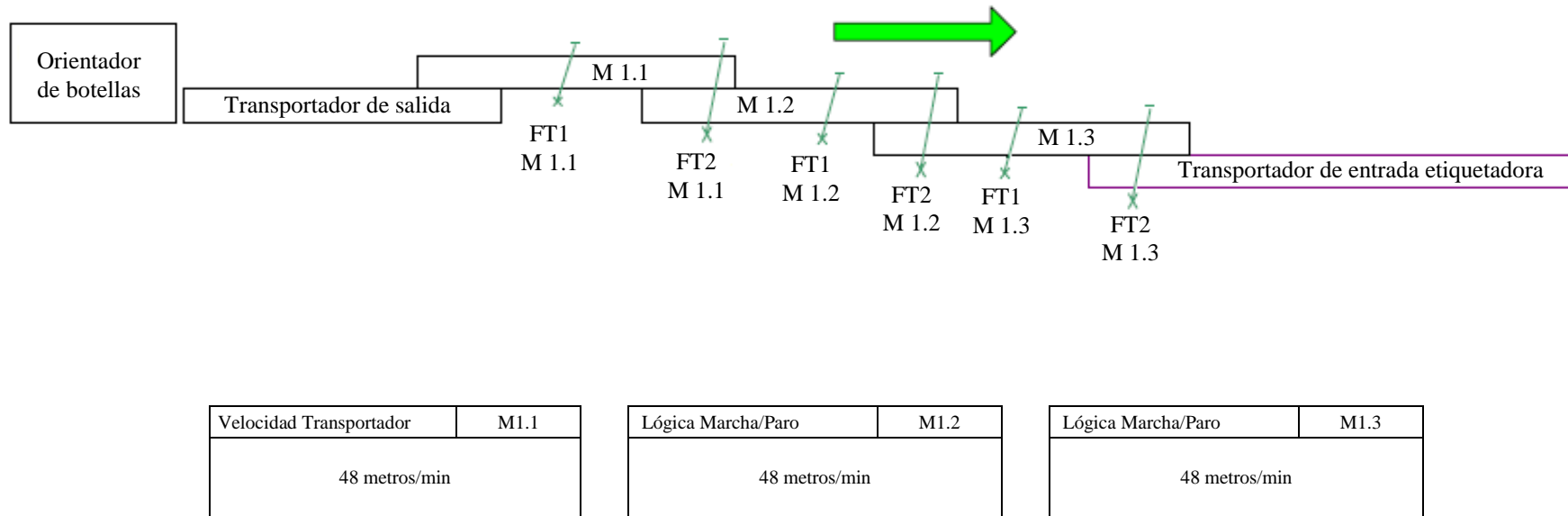


Figura 3.10, Velocidades de transportadores en zona 1, botellas vacías.

3.3.3 Zona 2: Lógica fotocélulas

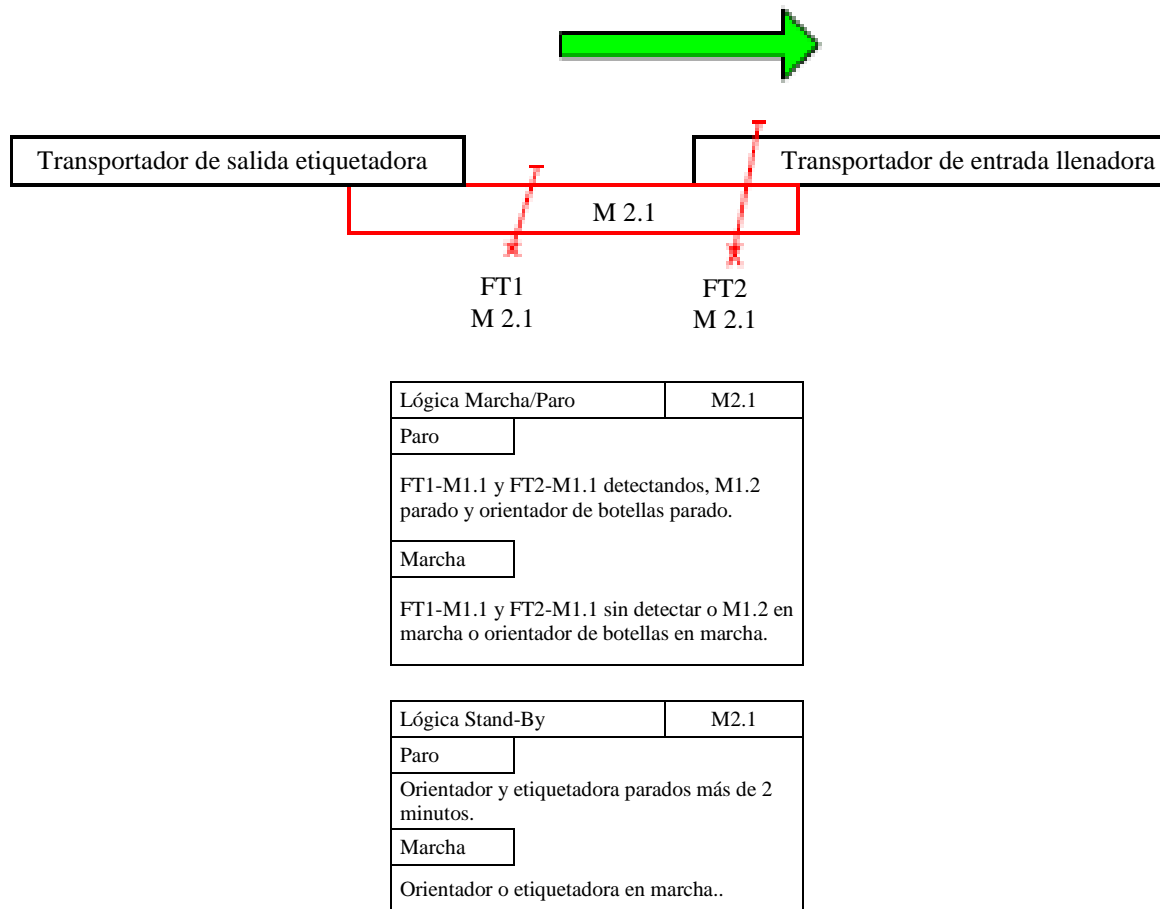


Figura 3.11, Lógica de fotocélulas en zona 2, botellas vacías.

3.3.4 Zona 2: Velocidades

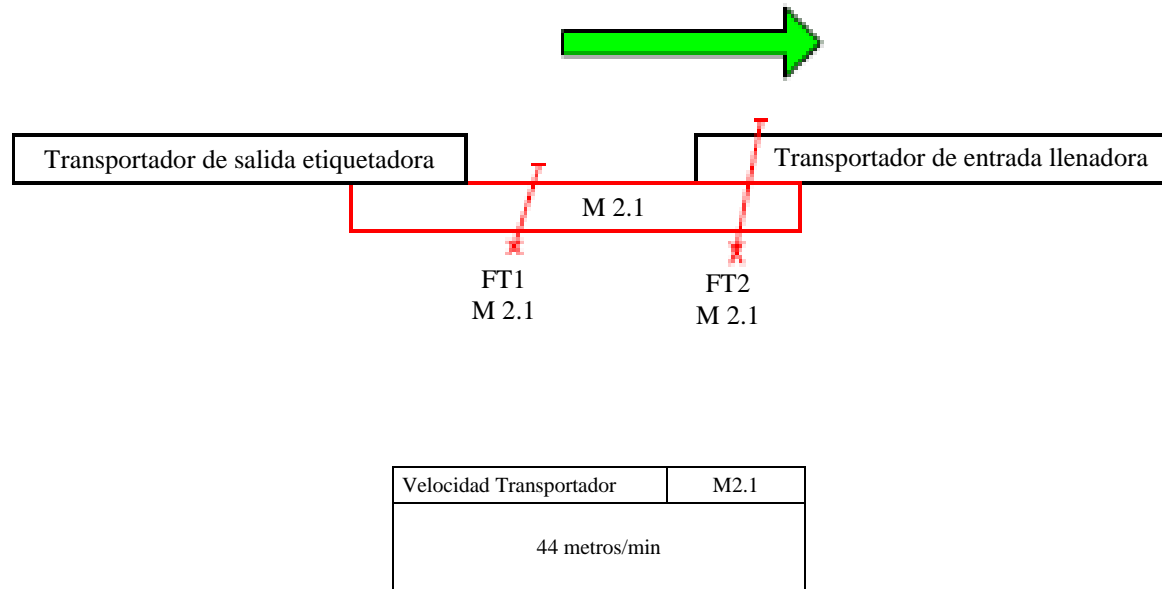


Figura 3.12, Velocidades de transportadores en zona 2, botellas vacías.

3.3.5 Zona 3: Lógica fotocélulas

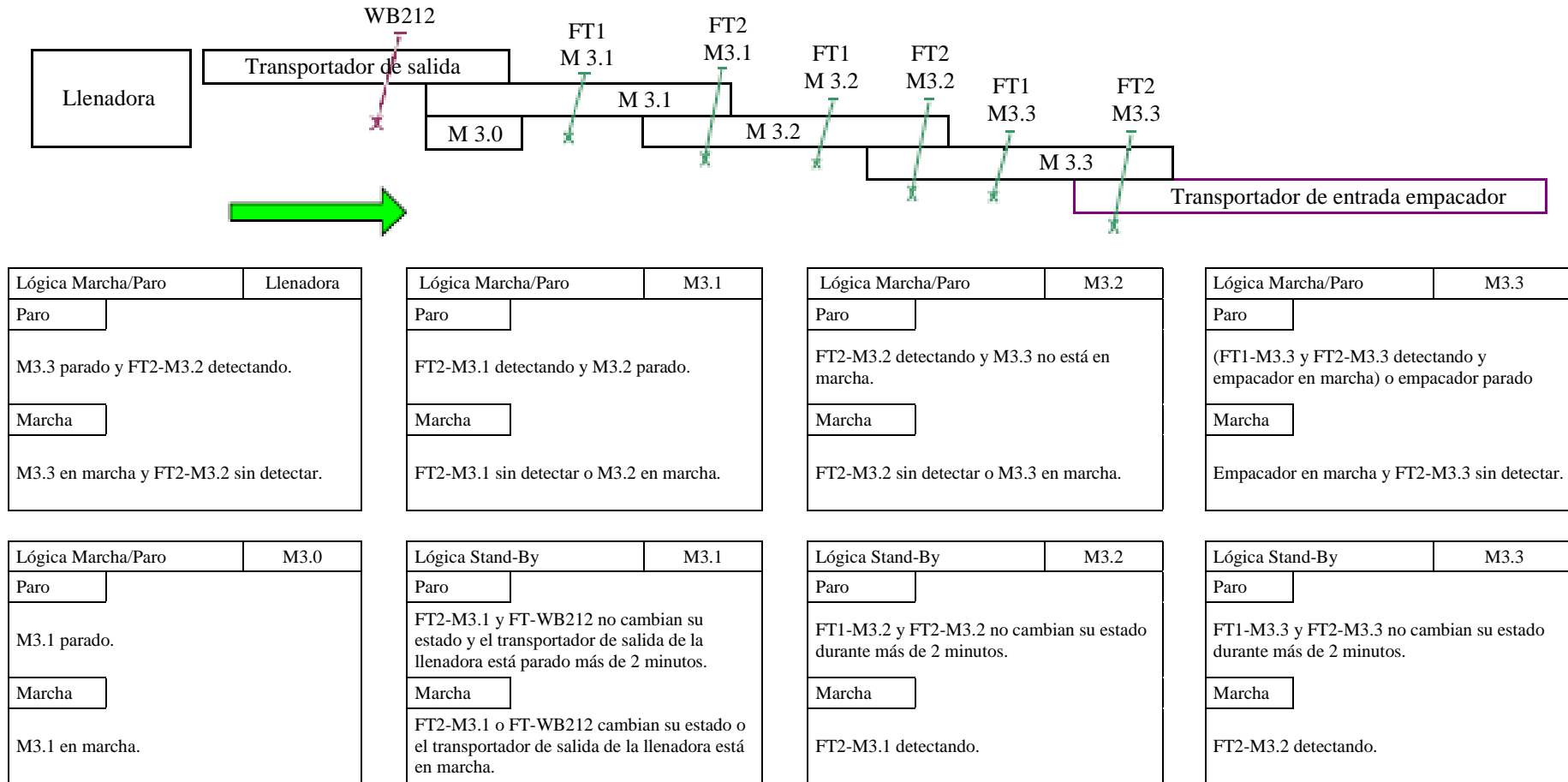


Figura 3.13, Lógica de fotocélulas en zona 2, botellas vacías.

3.3.6 Zona 3: Velocidades

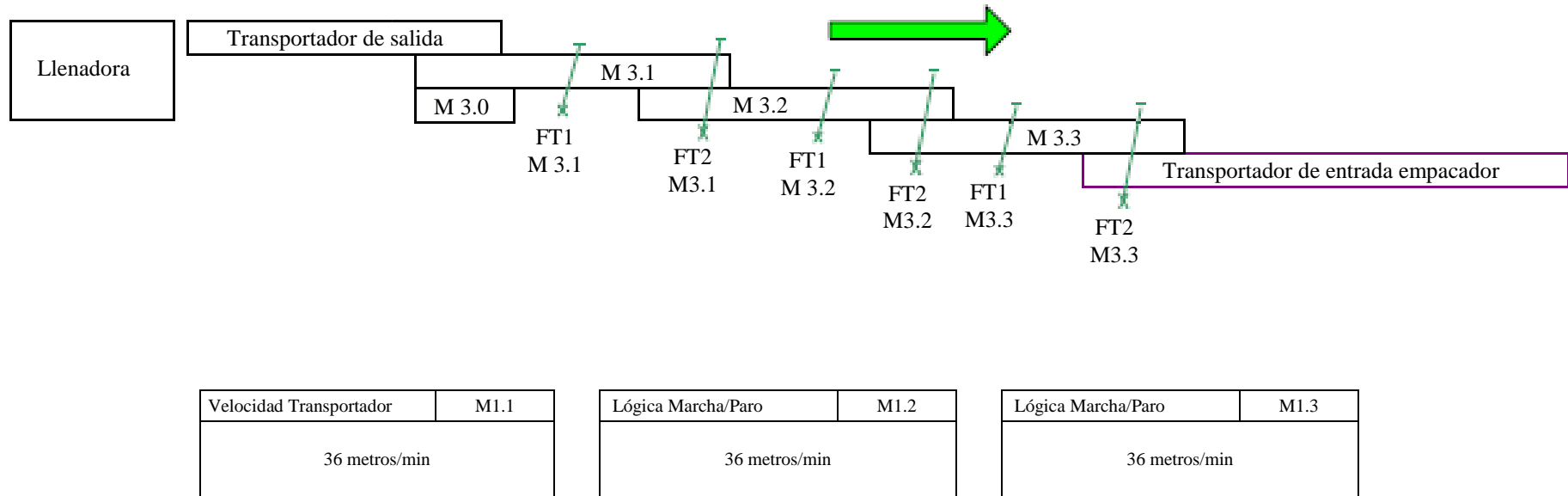


Figura 3.14, Velocidades de transportadores en zona 3, botellas llenas.

4 Modelado de la acumulación del producto

Cuando en alguno de los equipos que compone la línea de envasado se produce un fallo o una parada en su funcionamiento normal, las botellas empiezan a acumularse en el transportador o transportadores anteriores formando una cola hasta la estación de trabajo inmediatamente superior. Si la determinación de los parámetros (distancia fotocélula/estación, velocidad de los transportadores y estaciones, temporizaciones) que controlan el acumulado no es correcta, los envases pueden provocar atranques en el equipo pudiendo ocasionar daños en los componentes y una carga extra de trabajo para los operarios. Esta asignación de los parámetros de control también influye en el resultado de eficiencia de la línea.

El capítulo que se introduce trata de crear un modelo que permita la correcta acumulación de los envases cuando se produce una parada en el funcionamiento de cualquier equipo que compone la línea de producción. Este modelo debe poder ser utilizado satisfactoriamente para cualquiera de los tramos citados en el anterior capítulo.

4.1 Estados de los equipos

Las máquinas que forman la línea de envasado pueden encontrarse en cuatro estados diferentes: *run*, *fail*, *block* y *starve*.

4.1.1 Estado run

El estado *run* es el estado de funcionamiento en régimen nominal de máquina. Los envases entran en el equipo, se realiza el proceso y salen hacia la siguiente estación de trabajo sin ningún incidente.

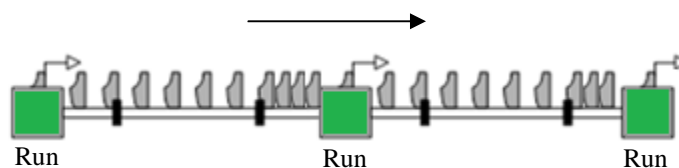


Figura 4.1, Estado run.

4.1.2 Estado fail

En el momento que en alguno de los equipos se produce un fallo en su proceso (atranque de envase, fallo motor, etc.) éste deja de funcionar y se produce una parada en su funcionamiento: no entran ni salen botellas. La estación está en estado *fail*. Esta parada provoca que en los transportadores que preceden a esta estación de trabajo se empiece a formar una cola de envases a la espera que vuelva al estado *run* y, si la parada dura lo suficiente, puede ocasionar que el equipo superior quede en estado *block*. De igual modo, en los transportadores posteriores deja de haber un flujo continuo de botellas circulando, provocando incluso que la máquina siguiente quede a la espera de recibir envases en un estado conocido como *starve*. Una vez resuelto el problema, para que la máquina vuelva a su estado de régimen nominal *run* se necesita de la confirmación del operario.

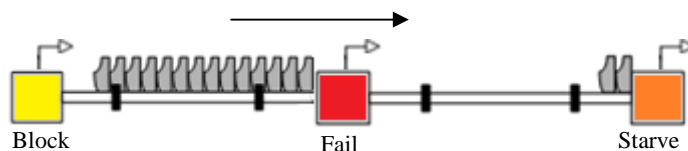


Figura 4.2, Estado fail.

4.1.3 Estado block

Debido a la acumulación de envases provocada en un transportador, ya sea porque en la estación de trabajo aguas abajo se encuentra en estado *fail* o porque en el transportador hay un atranque en las botellas provocando una cola, en el equipo inmediatamente superior se produce una parada llamada *block*. Este tipo de parada no necesita de una confirmación por parte del operario para que vuelva a su estado *run*, sino que lo hace automáticamente.

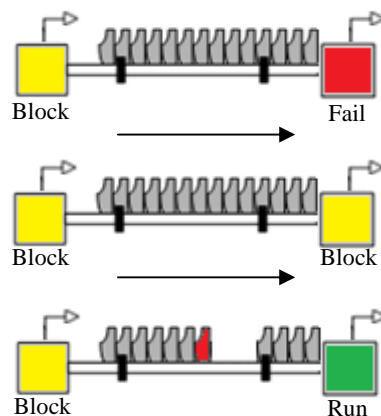


Figura 4.3, Estado block.

4.1.4 Estado starve

En el momento que alguno de estos transportadores se queda completamente vacío por la parada de un equipo aguas arriba o por un atranque de los envases en los transportadores, la estación de trabajo aguas abajo no dispone de la cantidad de envases necesarios para seguir con su proceso y debe detenerse quedando en un estado denominado *starve*, a la espera que se disponga de una cola suficiente para volver al estado *run* y seguir así con la producción. Al igual que en el estado anterior *block*, este tipo de parada no necesita de una confirmación por parte del operario para que vuelva a su estado *run*.

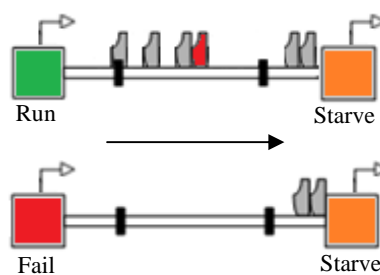


Figura 4.4, Estado starve.

4.2 Estado de las fotocélulas de detección de acumulaciones

Cuando se produce una de las paradas descritas anteriormente que acaba provocando una acumulación de los envases en el transportador por el que circulan, para detectar esta acumulación, se utilizan fotocélulas dispuestas a lo largo de los tramos de transportador. El estado de estas fotocélulas va cambiando y ello permite que el controlador vinculado actúe adecuadamente sobre los equipos enviando la señal oportuna para cada situación.

Generalmente, la línea dispone, para cada estación, de dos fotocélulas que permiten controlar el cambio de estado (regular los estados) run, block y starve. Estas fotocélulas están situadas una a la entrada de la estación y otra a la salida del mismo, tal como muestra la Figura 4.5, y a una altura de la botella que permite detectar sin problemas su presencia como se observa en la Figura 4.6.

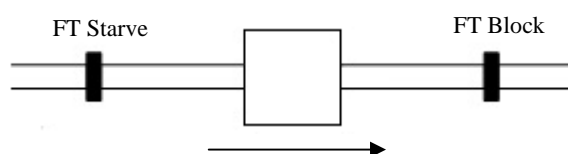


Figura 4.5, Fotocélulas de control de estado de un equipo.

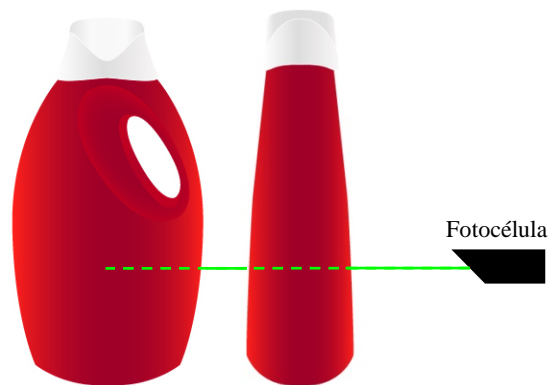


Figura 4.6, Altura de la fotocélula respecto la botella.

4.2.1 Fotocélula Starve

Es conveniente que una estación de trabajo que se encuentra en estado RUN disponga, en el transportador de entrada, de un número suficiente de envases. Si el número de envases listos para entrar es inferior a una cierta cantidad, es necesario cambiar el estado de la estación y pasarla a STARVE para evitar que el transportador de entrada a la estación se quede completamente vacío y prevenir atranques debido a la falta de la presión que ejercen las botellas en el sinfín de entrada del que dispone cada máquina.

La fotocélula Starve es la que nos indica cuando se produce esta situación. En funcionamiento normal (estado RUN de la estación) debe estar activa por efecto de los envases acumulados a la entrada de la estación. Si se desactiva durante un cierto tiempo, $t_{starveON}$, significa que no están llegando envases y se está acortando demasiado la cola de acumulación, L_{acmin} .

Este tiempo $t_{starveON}$ debe ser suficientemente largo como para permitir que un envase que está cerca de la acumulación llegue y así no detenemos innecesariamente la estación, y debe ser suficientemente corto como para asegurar que si la cola decrece demasiado, la estación tenga tiempo de cambiar de estado a *starve* antes que la longitud de la cola de acumulación sea inferior a L_{acmin} .

La distancia mínima de cola de envases a la entrada, L_{acmin} , se establece a partir del número mínimo de envases que el diseñador de la estación ha establecido, N_{acmin} .

En función de esta distancia mínima, se establece la posición de la fotocélula. En caso de que la línea pueda trabajar con diferentes formatos de envase como es en nuestro caso, la distancia se establece a partir de las dimensiones del formato mayor.

Fotocélula de reinicio

La fotocélula de reinicio está situada entre la fotocélula starve y la fotocélula block del equipo anterior y tiene como principal objetivo asegurar que la cola de entrada de envases es lo suficientemente larga para volver a poner en marcha, de modo estable, la estación de trabajo que se encontraba en estado starve. El funcionamiento lógico es el siguiente: cuando las fotocélulas starve y reinicio están detectando presencia de botella durante un tiempo consecutivo se cumple la condición de devolver al modo *run* la estación de trabajo que se encontraba en starve.

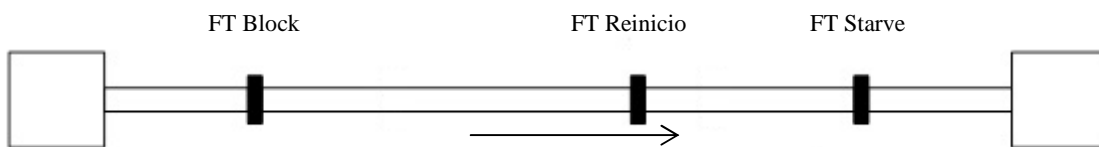


Figura 4.7, Situación fotocélula reinicio.

Esta fotocélula se utiliza como solución a una situación concreta donde debido a la longitud del transportador que une una pareja de equipos y la distancia entre las fotocélulas *block* y *starve* es muy grande, no es posible que la máquina upstream vuelva al estado *run* a tiempo después de entrar en *block* y provoca que la máquina downstream se detenga por falta de envases, estado conocido como *starve*.

El diagrama de la Figura 4.8 muestra la evolución del estado de una estación a partir de la información recibida de las diferentes fotocélulas.

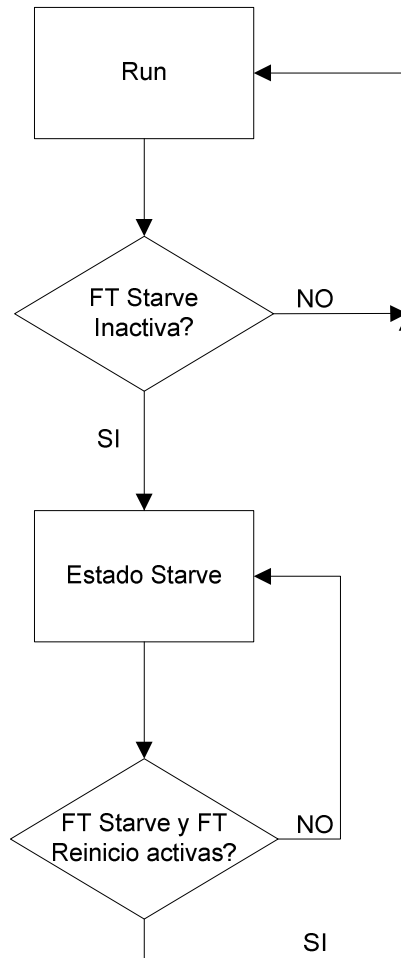


Figura 4.8, Diagrama de cambio de estado de la estación a partir de la fotocélula starve.

4.2.2 Fotocélula Block

De igual modo que en el caso anterior donde es conveniente que una estación de trabajo que se encuentra en estado RUN disponga, en el transportador de entrada, de un número suficiente de envases (cola de acumulación suficientemente larga, $L_{acmínSt}$), también es importante que la cola de acumulación en el transportador de salida de cualquier estación de trabajo no sea demasiado larga para así evitar que la cola llegue hasta esta estación y no pueda dar salida a los envases en proceso, provocando atranques en la estación.

Es decir, que la longitud de la cola de acumulación en un transportador debe tener una longitud mínima $L_{acmínBl}$ si queremos mantener en estado *run* la estación línea abajo y debe tener una longitud máxima para mantener en estado *run* la estación línea arriba.

Para ello, la fotocélula Block se encarga de avisar de esta situación. En funcionamiento normal, la fotocélula irá activándose y desactivándose al paso de las botellas. En el caso que la estación de trabajo aguas abajo trabaje más lentamente que la que precede o ésta detenga su funcionamiento, llegará un momento en que la cola de acumulación llegue a tapar constantemente esta fotocélula, por lo que se deberá activar el estado BLOCK para evitar atranques.

Dependiendo de la distancia entre la fotocélula block y la estación de trabajo con la cual está relacionada, el tiempo de margen t_{block} para activar el estado BLOCK en la estación de trabajo será mayor o menor. Es decir, el controlador debe activar el estado de block cuando se ha activado la fotocélula block y, además, ha transcurrido un cierto tiempo de espera (temporización). Esta temporización t_{block} debe ser suficientemente larga como para asegurar que el transportador queda lo más lleno posible de envases y lo suficientemente corto como para asegurar que no se envía una falsa señal y se detiene innecesariamente la estación.

El siguiente diagrama muestra gráficamente el proceso de funcionamiento de esta fotocélula:

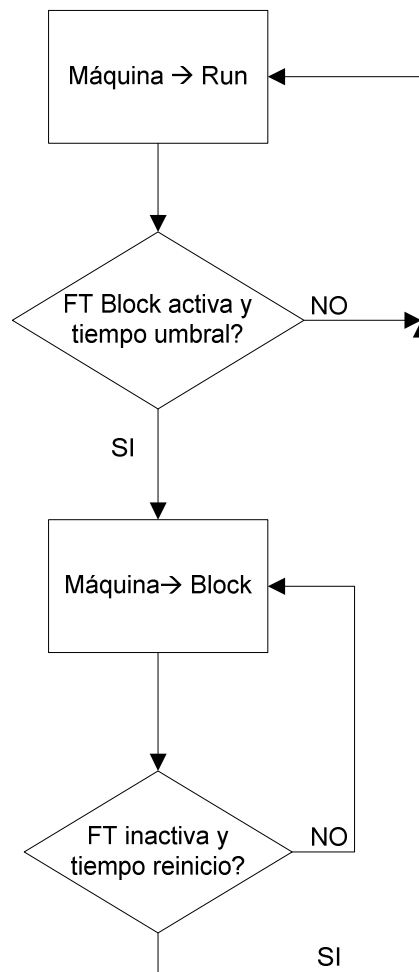


Figura 4.9, Diagrama de cambio de estado de la estación a partir de la fotocélula block.

4.2.3 Determinación de los parámetros de control de estado

Para empezar con la determinación de los parámetros de control de estado es importante tener en cuenta que las botellas circulan, con una separación entre ellas, por el transportador activando y desactivando las fotocélulas hasta juntarse en la cola y crear una acumulación. Para evitar que esta breve señal de activación debido al paso de la botella por la fotocélula envíe una falsa señal al controlador, es conveniente unir la señal de fotocélula activa a una temporización τ mayor al tiempo de paso de la botella por la fotocélula. En caso de que la línea pueda trabajar con diferentes formatos de envase, este tiempo se establece a partir de las dimensiones del formato mayor.

Parámetros de control de estado starve

Cuando la fotocélula starve deja de detectar presencia de botella, la señal hace activar un temporizador con un tiempo $t_{starveON}$. Este tiempo $t_{starveON}$ tiene que garantizar la distancia mínima de cola de envases a la entrada, L_{acmin} , que se establece a partir del número mínimo de envases que el diseñador de la estación ha establecido, N_{acmin} . Para ello es necesario determinar la distancia mínima $d_{mínSt}$ entre la fotocélula starve y la máquina a la que está vinculada de tal manera que se garantice el número mínimo de botellas $N_{acmín}$. Para determinar $d_{mínSt}$ se utilizará la anchura l de la botella de formato mayor la cual es de 180mm y aplicar (4.1)

$$d_{mínSt} = N_{acmín} \times l_{máx} \quad (4.1)$$

donde $d_{mínSt}$ es la distancia mínima entre la fotocélula starve y la máquina en la cual actúa, $N_{acmín}$ el número de botellas mínimo definido por el fabricante a la entrada de la máquina y $l_{máx}$ la anchura de la botella de mayor tamaño.

Con tal de garantizar esta distancia mínima $d_{mínSt}$ entre fotocélula y máquina se opta por añadir una distancia de seguridad de 600mm. Esta distancia extra será absorbida por un tiempo de retraso en la activación del estado starve $t_{starveON}$ desde que la fotocélula deja de detectar presencia de botella hasta que envía la orden de cambiar a estado *starve* y así asegurar el número de envases mínimos en la entrada de la máquina. De este modo, la distancia práctica d_{St} entre fotocélula y máquina viene dada por

$$d_{St} = d_{mínSt} + 600 \quad (4.2)$$

Con este requisito, el tiempo $t_{starveON}$ vendrá dado por

$$t_{starveON} = \frac{\frac{d_{St}}{l} - N_{acmín}}{v_{máq}} \quad (4.3)$$

donde $t_{starveON}$ es el tiempo que garantiza la cola de envases mínima N_{acmin} recomendada por el fabricante, d_{St} es la distancia entre la fotocélula starve y la máquina, l la anchura de la botella y $v_{máq}$ la velocidad de trabajo de la máquina.

El reinicio de la máquina que se encuentra en estado starve vendrá condicionado por dos condiciones. Será necesario que la fotocélula starve esté detectando presencia de botella y la máquina upstream esté en estado run al mismo tiempo. Con estas dos condiciones activadas simultáneamente, se puede reiniciar de nuevo la marcha en la máquina de manera instantánea.

Parámetros de control de estado block

Cuando la fotocélula block empieza a detectar presencia de botella, la señal hace activar un temporizador con un tiempo t_{blockON} . Este tiempo t_{blockON} tiene que garantizar que en el momento que se manda la señal de estado block a la máquina, los envases que todavía circulan por el transportador no llegarán a crear una acumulación lo suficientemente larga que pueda provocar desperfectos.

La distancia d_{BI} se establece teniendo en cuenta la distancia que separa la fotocélula block de la fotocélula starve, siempre cumpliendo que $d_{\text{BI}} > d_{\text{mínBI}}$. Si la distancia entre fotocélulas es muy corta, la máquina entrará en estado block muy frecuentemente, algo totalmente desaconsejable para evitar un mayor desgaste de los componentes de la máquina. Por tanto trataremos de maximizar la distancia que separan las dos fotocélulas teniendo en cuenta que la distancia entre la fotocélula block y la estación superior debe ser suficientemente grande para evitar que la acumulación llegue a introducirse en la máquina. Para ello, se determinará el tiempo t_{blockON} que queremos de retraso para el formato de mayor tamaño desde que una botella llega a la cola de acumulación activando la fotocélula block hasta que se activa el estado block en la máquina y después se establecerá la posición maximizada de la fotocélula añadiéndole un margen de seguridad. El tiempo t_{blockON} elegido debe ser lo suficientemente largo para asegurar que la acumulación no llegará a la máquina y lo suficientemente corto para maximizar la distancia entre fotocélulas y así agilizar el funcionamiento y evitar tiempos improductivos. El tiempo t_{blockON} debe ser razonable para la dinámica de la línea (entre 2 y 4 segundos) y además suponga un valor de n_{cola} suficientemente grande (>2). Además, el tiempo t_{blockON} debe cumplir el requisito de ser mayor al tiempo τ que tarda una botella en pasar por la fotocélula.

Para saber el tiempo mínimo $\tau_{\text{mín}}$ que tarda una botella en hacer el paso por fotocélula, se aplica (4.4),

$$\tau_{\min} = \frac{l_{\max}}{v_{\text{transp.}}} \quad (4.4)$$

donde τ es el tiempo de paso, l_{\max} la anchura de la botella y $v_{\text{transp.}}$ la velocidad del transportador por donde circula esta botella. En la práctica, el valor adecuado para τ vendrá dado por el resultado del cálculo anterior más un tiempo de margen $\tau_1=1$ tal que

$$\tau = \frac{l_{\max}}{v_{\text{transp.}}} + \tau_1 \quad (4.5)$$

Este segundo añadido $\tau_1=1$ tiene como principal objetivo asegurar que nuevamente empieza una acumulación de botellas y que la fotocélula no se queda activada por un envase aislado que se haya quedado frenado más de lo normal en el transportador o cualquier otro fenómeno que haga enviar una falsa señal al controlador.

Sabiendo que las botellas circulan con una distancia entre ejes de $\frac{v_{\text{transp}}}{v_{\text{máq}}}$ se puede conocer el tiempo t_{acum} que tarda un envase en llegar a la cola de acumulación del transportador con

$$t_{\text{acum}} = \frac{\left(\frac{v_{\text{transp}}}{v_{\text{máq}}} - l_{\max} \right)}{v_{\text{transp}}} \quad (4.6)$$

donde t_{acum} es el tiempo que tarda un envase en llegar a la cola de acumulación, v_{transp} la velocidad del transportador (en metros por minuto), $v_{\text{máq}}$ la velocidad de trabajo de la máquina superior (en botellas por minuto) y l_{\max} la anchura de la botella de mayor tamaño debido a que la anchura de la botella reduce el recorrido posible dentro del tramo de transportador.

Conocido este dato y con un grado de libertad en la elección del tiempo t_{blockON} se puede proceder a calcular el número de botellas n_{cola} que quedarán entre fotocélula y máquina con

(4.7)

$$n_{cola} = \frac{t_{blockON}}{t_{acum}} \quad (4.7)$$

donde n_{cola} es el número de botellas acumuladas entre fotocélula y máquina, $t_{blockON}$ el tiempo de retraso en la activación del estado block y t_{acum} el tiempo que tarda un envase en llegar a la cola de acumulación.

Definido el número de botellas en la cola de acumulación n_{cola} entre la fotocélula block y la estación de trabajo superior, se puede conocer la distancia $d_{mínBl}$ a la que se deberá colocar la fotocélula correspondiente al $t_{blockON}$ definido con anterioridad aplicando (4.8)

$$d_{mínBl} = n_{cola} \times l_{máx} \quad (4.8)$$

Cabe recordar que esta distancia está determinada para el formato de botella de mayor tamaño, por lo que los tiempos t_{acum} y $t_{blockON}$ se deben reajustar para los demás tamaños existentes.

El reinicio de la marcha del equipo que se encuentra en estado block se hace después de una temporización. En el momento que la fotocélula block deja de estar activada debido la presencia de un envase, significará que la cola está decreciendo y que la máquina podrá volver al estado RUN después de un tiempo $t_{blockOFF}$. Este tiempo $t_{blockOFF}$ ha de ser lo suficientemente corto para asegurar que no se pondrá en estado run innecesariamente y lo suficientemente largo para asegurar que la siguiente estación de trabajo no se queda sin envases para producir y tiene que cambiar su estado de run a starve.

Para obtener este tiempo de espera $t_{blockOFF}$, primero se calcula con (4.9) el tiempo que tarda en llegar la primera botella que sale de la máquina de origen a la fotocélula starve de la máquina destino, tal como se ve en la Figura 4.10.

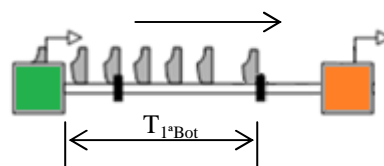


Figura 4.10, Tiempo espera llegada de primera botella a FT Starve.

$$t_{1^{\circ}Bot} = \frac{d}{v_{transp}} \quad (4.9)$$

donde $t_{1^{\circ}Bot}$ es el tiempo, v_{transp} es la velocidad del transportador y d es la distancia entre la máquina de origen de las botellas y la fotocélula starve de la máquina de destino.

Conocido el tiempo $t_{1^{\circ}Bot}$ que tarda en llegar la primera botella a la fotocélula starve, se procede a calcular con (4.10) el tiempo $t_{FBI-FSt}$ que tarda en llegar esta botella desde la fotocélula block a la fotocélula starve del mismo tramo, tal como muestra la Figura 4.11:

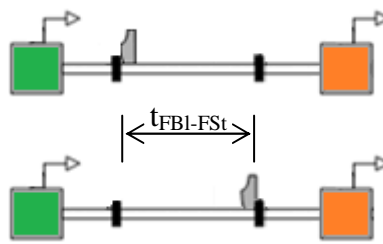


Figura 4.11, Tiempo espera llegada botella de FT block a FT Starve.

$$t_{FBI-FSt} = \frac{d}{v_{maq} \times l} \quad (4.10)$$

donde $t_{FBI-FSt}$ es el tiempo, v_{maq} es la velocidad de la máquina de destino, l es la anchura de la botella y d es la distancia entre la fotocélula block y la fotocélula starve.

Utilizando (4.11),

$$t_{blockOFF} = t_{FBI-FSt} - t_{1^{\circ}Bot} \quad (4.11)$$

se conoce cuál es el umbral de tiempo $t_{blockOFF}$ óptimo de reinicio después de un estado block que utilizará el temporizador y se garantiza que no habrán pequeñas paradas en el equipo.

En este caso hay que verificar que $t_{FBI-FSt} > t_{1^{\circ}Bot}$ ya que de lo contrario la primera botella proveniente de la máquina superior no llegará a tiempo para activar la fotocélula starve de la máquina inferior y provocará una parada por falta de envases. Tampoco es aconsejable que $t_{FBI-FSt} = t_{1^{\circ}Bot}$, ya que el tiempo sería demasiado justo.

En el caso que $t_{FBI-FSt} < t_{1^a Bot}$, una solución puede ser reubicar la fotocélula de block más cerca del equipo que controla, aumentando así $t_{FBI-FSt}$. En este caso se debe recalcular el umbral de tiempo $t_{starveON}$, tal como se establece en (4.3).

Otra solución a este problema puede ser la implantación de la fotocélula de reinicio, en cualquier parte del transportador entre la fotocélula block y starve. La fotocélula de reinicio utilizará la detección del movimiento de las botellas (por ejemplo el paso del cuello o del asa de una botella, tal como muestra la Figura 4.12) durante un tiempo consecutivo $|t_{FBI-FSt} - t_{1^a Bot}|$ para dar la señal de marcha al controlador del equipo, ganando así este tiempo extra necesario. En este caso, el umbral de tiempo $t_{blockOFF}$ óptimo de reinicio después de un estado block que utilizará el temporizador para dar la orden de volver al estado run será (4.12)

$$t_{blockOFF} = |t_{FBI-FSt} - t_{1^a Bot}| \quad (4.12)$$

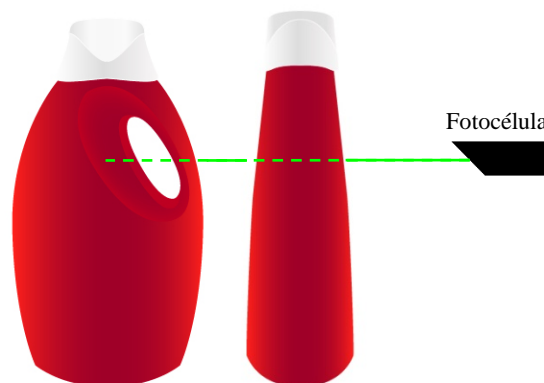


Figura 4.12, Altura de la fotocélula de reinicio respecto la botella.

Utilizando esta solución, es importante que el reinicio de la estación de trabajo esté condicionado al cumplimiento en serie de este tiempo y el estado run de la siguiente estación.

5 Aplicación del modelado

Después de conocer las especificaciones y puntos críticos de los equipos que forman la línea de envasado real y los tipos de parada que se pueden producir en ellos, es tiempo para aplicar el modelo en las diferentes zonas que conforman la línea y valorar su viabilidad para los cuatro formatos de botellas que se producirá, tal como se muestra en la Figura 5.1.

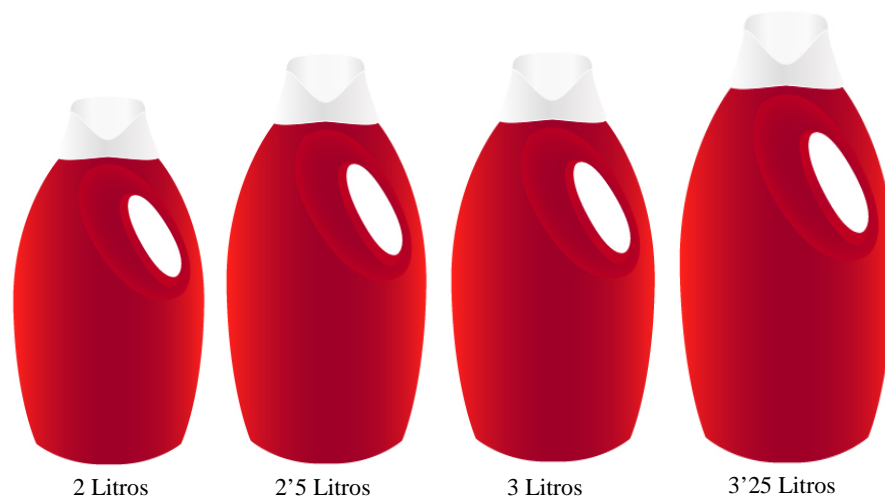


Figura 5.1, Formato de las botellas.

5.1 Botella de 2 litros

La botella de 2 litros es el envase de menor capacidad y menor tamaño que se produce en nuestra línea de envasado. En la Figura 5.2 se muestra la anchura de la botella, ya que es la única dimensión que nos influye en la programación de la lógica de acumulación.

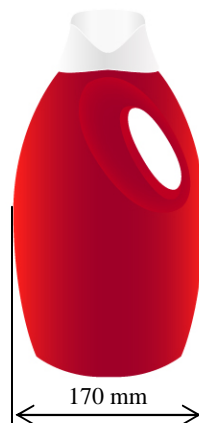


Figura 5.2, Anchura de la botella de 2 litros.

Presentada la botella, se procede a aplicar el modelado trabajado en el capítulo anterior para cada una de las zonas que forman la línea de producción teniendo en cuenta las especificaciones de las máquinas situadas en cada zona, tal como muestra la Tabla 5.1.

	2 Litros
Anchura de la botella (mm)	160
Velocidad de trabajo del Orientador (bot/min)	90
Velocidad de trabajo de la Etiquetadora (bot/min)	85
Velocidad de trabajo de la Llenadora (bot/min)	79
Velocidad de trabajo del Empacador (bot/min)	85

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Velocidad transportadores (m/min)	48	44	36

Tabla 5.1, Parámetros de trabajo para la botella de 2 Litros.

	Etiquetadora	Llenadora	Empacador
Número de botellas a la entrada ($N_{acmín}$)	4	7	10

Tabla 5.2, Parámetros de trabajo compartidos.

5.1.1 Zona 1

Como se ha explicado con anterioridad en el capítulo 3, la Zona 1 está ubicada dentro del área de botellas vacías y engloba las máquinas “Orientador de botellas” y “Etiquetadora de botellas”. En la Figura 5.3 se muestran las distancias que influirán en la elección de los tiempos para el diseño de la lógica de acumulación:

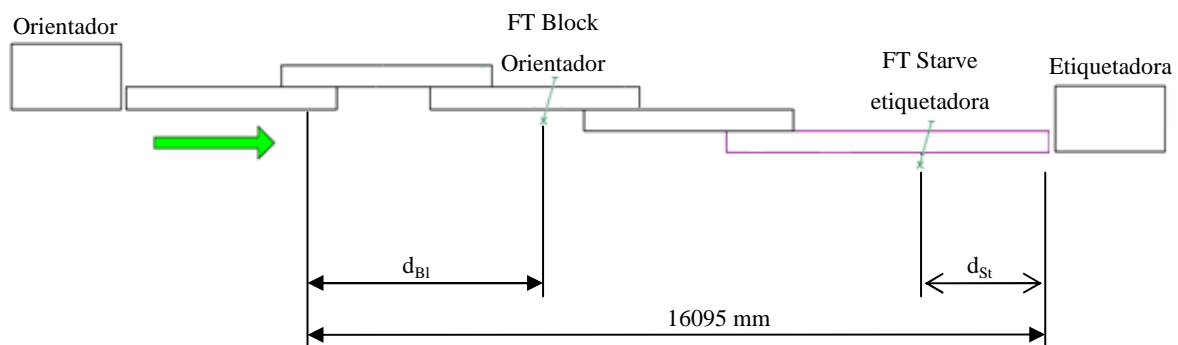


Figura 5.3, Distancias en Zona 1.

Parámetros de control de estado starve

El primer paso a realizar en el proceso de cálculo es conocer la distancia d_{St} . Para ello, se aplica (4.1), tal que

$$d_{\min St} = N_{acmín} \times l_{máx} = 4 \times 0'18 = 0'72 m$$

Con tal de garantizar esta distancia mínima $d_{\min St}$ entre fotocélula y máquina se opta por añadir una distancia de seguridad de 600mm, por lo que la distancia d_{St} es

$$d_{St} = d_{\min St} + 600 = 0'72 + 0'6 = 1'32 m$$

Así pues, definimos la posición de la fotocélula starve a 1'32 metros respecto la etiquetadora.

Una vez calculado este valor, se puede programar el temporizador habilitado por la señal de fotocélula starve inactiva que hará detener la etiquetadora con el tiempo $t_{starveON}$

$$t_{starveON} = \frac{\frac{d_{St}}{l} - N_{acmín}}{v_{máq}} = \frac{\frac{1'32m}{0'16m} - 4botellas}{\frac{85botellas}{60seg}} = 3seg$$

Hay que recordar que el reinicio de la máquina que se encuentra en estado starve vendrá condicionado porque la fotocélula starve esté detectando presencia de botella y la máquina upstream esté en estado run al mismo tiempo.

Parámetros de control de estado block

El primer requisito para empezar a calcular los parámetros de control de estado block es definir la situación de la fotocélula block. Se define que el tiempo $t_{blockON}$ con que el que se trabajará es de 2 segundos y se verifica que es mayor al tiempo que tarda una botella en pasar una fotocélula en este tramo de transportador.

$$\tau = \frac{l_{máx}}{v_{transp.}} + \tau_1 = \frac{0'18m}{\frac{48m}{60seg}} + 1 = 1'23seg$$

El siguiente paso en el cálculo de la determinación de la distancia d_{Bl} es el cálculo del tiempo de acumulación.

$$t_{acum} = \frac{\left(\frac{v_{transp}}{v_{máq}} - l_{máx} \right)}{v_{transp}} = \frac{\left(\frac{48 \frac{m}{\min}}{82 \frac{botellas}{\min}} - 0'18 \frac{m}{botella} \right)}{\frac{48m}{60seg}} = 0'51 \frac{seg}{botella}$$

Conocido el tiempo de acumulación t_{acum} es posible conocer el número de botellas en la cola que quedarán entre fotocélula y máquina.

$$n_{cola} = \frac{t_{blockON}}{t_{acum}} = \frac{2}{0'51} = 3'9botellas \approx 4botellas$$

Finalmente, la posición de la fotocélula quedará definida por (4.8):

$$d_{Bl} = n_{cola} \times l_{máx} = 4 \times 0'18 = 0'72m$$

Debido a que la posición de la fotocélula está calculada con el peor caso posible (botella de mayor tamaño), se debe recalcular los tiempos t_{acum} y $t_{blockON}$ para optimizar estos tiempos para este formato de envase. Así, los tiempos t_{acum} y $t_{blockON}$ quedarán definidos con los siguientes valores.

$$t_{acum} = \frac{\left(\frac{v_{transp}}{v_{máq}} - l \right)}{v_{transp}} = \frac{\left(\frac{48 \frac{m}{\min}}{90 \frac{botellas}{\min}} - 0'16 \frac{m}{botella} \right)}{\frac{48m}{60seg}} = 0'47 \frac{seg}{botella}$$

$$t_{blockON} = t_{acum} \times \frac{d_{Bl}}{l} = 0'47 \frac{seg}{botella} \times \frac{0'72m}{0'16m \frac{m}{botella}} = 2'12seg$$

Una vez definido este tiempo, se define el umbral de tiempo para el temporizador habilitado por la señal de inactivación de la fotocélula block y su correcto valor. El primer paso es calcular el tiempo que tarda en llegar la primera botella que sale del orientador a la fotocélula starve de la etiquetadora. Para ello, se aplica (4.9) tal que

$$t_{1^a Bot} = \frac{d}{v_{transp}} = \frac{16'095 - 1'32 \text{ m}}{48 \frac{\text{m}}{\text{min}}} = 0'30 \text{ min} = 18'47 \text{ seg}$$

Una vez sabemos este tiempo, se procede a calcular el tiempo que tarda en llegar a la fotocélula starve de la máquina de destino la última botella de la cola de acumulación. Aplicando (4.10), se tiene que

$$t_{FBI-FSt} = \frac{d}{v_{etiquetadora} \times l} = \frac{16'095 - 1'32 - 0'72 \text{ m}}{85 \frac{\text{botella}}{\text{min}} \times 0'16 \frac{\text{m}}{\text{botella}}} = 1'03 \text{ min} = 62 \text{ segundos}$$

Finalmente, utilizando (4.11) se puede obtener el umbral de tiempo $t_{blockOFF}$ con el que será programado el temporizador habilitado por la señal de inactivación de la fotocélula block, para una vez cumplido, enviar la señal de reinicio al controlador de la máquina aguas arriba. Con (4.11) se tiene que el umbral de tiempo es

$$t_{blockOFF} = t_{FBI-FSt} - t_{1^a Bot} = 62 - 18'47 = 43'54 \text{ segundos}$$

5.1.2 Zona 2

Juntamente con la Zona 1, la Zona 2 está ubicada dentro del área de botellas vacías y engloba las máquinas “Etiquetadora de botellas” y “Llenadora de botellas”. En la figura 5.4 se muestran las distancias que influirán en la elección de los tiempos para el diseño de la lógica de acumulación:

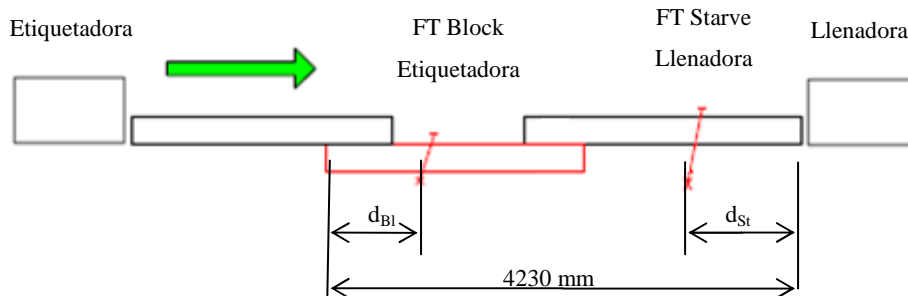


Figura 5.4, Distancias en Zona 2.

Parámetros de control de estado starve

Al igual que en el caso anterior, el primer paso a realizar en el proceso de cálculo es conocer la distancia d_{St} . Para ello, se aplica (4.1), tal que

$$d_{mínSt} = N_{acmín} \times l_{máx} = 7 \times 0'18 = 1'26m$$

Nuevamente, con tal de garantizar esta distancia mínima $d_{mínSt}$ entre fotocélula y máquina se opta por añadir una distancia de seguridad de 600mm, por lo que la distancia d_{St} es

$$d_{St} = d_{mínSt} + 600 = 1'26 + 0'6 = 1'86m$$

Así pues, definimos la posición de la fotocélula starve en la Zona 2 a 1'86 metros respecto a la llenadora.

Una vez calculado este valor, se puede programar el temporizador habilitado por la señal de fotocélula starve inactiva que hará detener la llenadora con el tiempo $t_{starveON}$

$$t_{starveON} = \frac{d_{St} - N_{acmín} \times l}{v_{máq}} = \frac{1'86m - 7botellas \times 0'16m}{\frac{79botellas}{60seg}} = 3'51seg$$

Recordar nuevamente que el reinicio de la máquina que se encuentra en estado starve vendrá condicionado porque la fotocélula starve esté detectando presencia de botella y la máquina upstream esté en estado run al mismo tiempo.

Parámetros de control de estado block

Igual que en la Zona 1, el primer requisito para empezar a calcular los parámetros de control de estado block es definir la situación de la fotocélula block. Se define que el tiempo $t_{blockON}$ con que el que se trabajará es de 2 segundos y se verifica que es mayor al tiempo que tarda una botella en pasar una fotocélula en este tramo de transportador.

$$\tau = \frac{l_{máx}}{v_{transp.}} + \tau_1 = \frac{0'18m}{\frac{44m}{60seg}} + 1 = 1'25seg$$

El siguiente paso en el cálculo de la determinación de la distancia d_{Bl} es el cálculo del tiempo de acumulación para el peor caso posible.

$$t_{acum} = \frac{\left(\frac{v_{transp}}{v_{máq}} - l_{máx} \right)}{v_{transp}} = \frac{\left(\frac{44 \frac{m}{\min}}{75 \frac{botellas}{\min}} - 0'18 \frac{m}{botella} \right)}{\frac{44m}{60seg}} = 0'55 \frac{seg}{botella}$$

Conocido el tiempo de acumulación t_{acum} es posible conocer el número de botellas en la cola del tamaño mayor que quedarán entre fotocélula y máquina.

$$n_{cola} = \frac{t_{blockON}}{t_{acum}} = \frac{2}{0'55} = 3'63 botellas \approx 3 botellas$$

Finalmente, la posición de la fotocélula quedará definida por (4.8):

$$d_{Bl} = n_{cola} \times l_{máx} = 3'63 \times 0'18 = 0'65 m$$

Debido a que la posición de la fotocélula está calculada con el peor caso posible (botella de mayor tamaño), se debe recalcular de nuevo los tiempos t_{acum} y $t_{blockON}$ para optimizar estos tiempos para este formato de envase. Así, los tiempos t_{acum} y $t_{blockON}$ quedarán definidos con los siguientes valores.

$$t_{acum} = \frac{\left(\frac{v_{transp}}{v_{máq}} - l \right)}{v_{transp}} = \frac{\left(\frac{44 \frac{m}{\min}}{85 \frac{botellas}{\min}} - 0'16 \frac{m}{botella} \right)}{\frac{44m}{60seg}} = 0'49 \frac{seg}{botella}$$

$$t_{blockON} = t_{acum} \times \frac{d_{Bl}}{l} = 0'49 \frac{seg}{botella} \times \frac{0'65m}{0'16 \frac{m}{botella}} = 1'99 seg$$

Definido este tiempo, se calcula el umbral de tiempo para el temporizador habilitado por la señal de inactivación de la fotocélula block y su correcto valor. El primer paso es calcular el tiempo que tarda en llegar la primera botella que sale de la etiquetadora a la fotocélula starve de la llenadora. Para ello, se aplica (4.9) tal que

$$t_{1^a Bot} = \frac{d}{v_{transp}} = \frac{4'23 - 1'86 \text{ m}}{\frac{44 \text{ m}}{60 \text{ seg}}} = 3'23 \text{ seg}$$

Una vez sabemos este tiempo, se procede a calcular el tiempo que tarda en llegar a la fotocélula starve de la máquina de destino la última botella de la cola de acumulación. Aplicando (4.10), se tiene que

$$t_{FBI-FSt} = \frac{d}{v_{llenadora} \times l} = \frac{4'23 - 1'86 - 0'65 \text{ m}}{79 \frac{\text{botellas}}{60 \text{ seg}} \times 0'16 \frac{\text{m}}{\text{botella}}} = 8'16 \text{ seg}$$

Finalmente, utilizando (4.11) se puede obtener el umbral de tiempo $t_{blockOFF}$ con el que será programado el temporizador habilitado por la señal de inactivación de la fotocélula block, para una vez cumplido, enviar la señal de reinicio al controlador de la máquina aguas arriba. Con (4.11) se tiene que el umbral de tiempo es

$$t_{blockOFF} = t_{FBI-FSt} - t_{1^a Bot} = 8'16 - 3'23 = 4'93 \text{ segundos}$$

5.1.3 Zona 3

La Zona 3 está ubicada dentro de la zona de botellas llenas y está formada por las máquinas “Llenadora de botellas”, “Pesadora” y “Empacador”. En la figura 5.5 se muestran las distancias que influirán en la elección de los tiempos para el diseño de la lógica de acumulación:

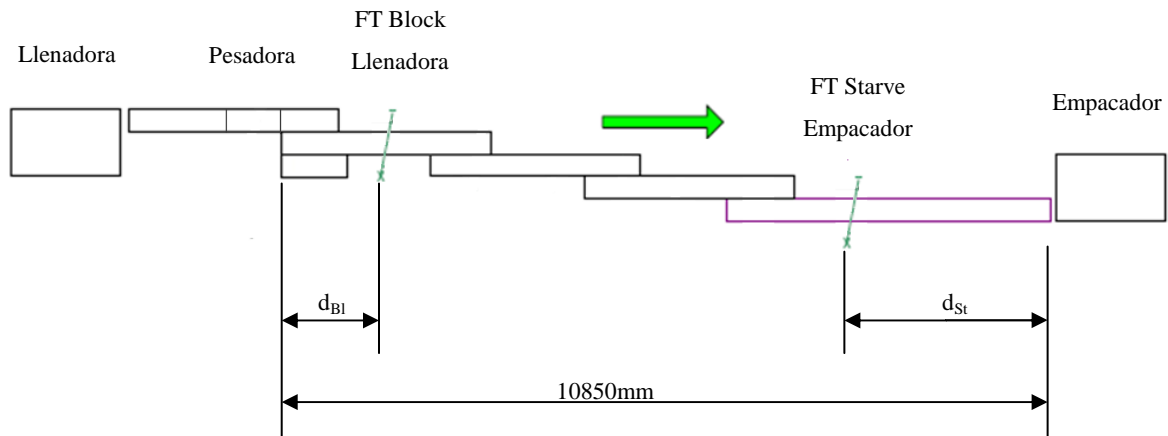


Figura 5.5, Distancias en Zona 3.

Parámetros de control de estado starve

Como en los dos casos anteriores, se empieza por realizar el proceso de cálculo para conocer la distancia d_{St} . Para ello, se aplica (4.1), tal que

$$d_{mínSt} = N_{acmín} \times l_{máx} = 10 \times 0'18 = 1'8m$$

Nuevamente, con tal de garantizar esta distancia mínima $d_{mínSt}$ entre fotocélula y máquina se opta por añadir una distancia de seguridad de 600mm, por lo que la distancia d_{St} es

$$d_{St} = d_{mínSt} + 600 = 1'8 + 0'6 = 2'4m$$

Así pues, definimos la posición de la fotocélula starve en la Zona 2 a 2'4 metros respecto el empacador.

Una vez calculado este valor, se puede programar el temporizador habilitado por la señal de fotocélula starve inactiva que hará detener el empacador con el tiempo $t_{starveON}$

$$t_{starveON} = \frac{\frac{d_{St}}{l} - N_{acmín}}{v_{máq}} = \frac{\frac{2'4m}{0'16m} - 10botellas}{\frac{85botellas}{60seg}} = 3'53seg$$

Recordar nuevamente que el reinicio de la máquina que se encuentra en estado starve vendrá condicionado porque la fotocélula starve esté detectando presencia de botella y la máquina upstream esté en estado run al mismo tiempo.

Parámetros de control de estado block

Igual que en las Zona 1 y 2, el primer requisito para empezar a calcular los parámetros de control de estado block es definir la situación de la fotocélula block. Se define que el tiempo $t_{blockON}$ con que el que se trabajará es de 2 segundos y se verifica que es mayor al tiempo que tarda una botella en pasar una fotocélula en este tramo de transportador.

$$\tau = \frac{l_{máx}}{v_{transp.}} + \tau_1 = \frac{0'18m}{\frac{36m}{60seg}} + 1 = 1'3seg$$

El siguiente paso en el cálculo de la determinación de la distancia d_{BI} es el cálculo del tiempo de acumulación.

$$t_{acum} = \frac{\left(\frac{v_{transp}}{v_{máq}} - l_{máx} \right)}{v_{transp}} = \frac{\left(\frac{36 \frac{m}{min}}{66 \frac{botellas}{min}} - 0'18 \frac{m}{botella} \right)}{\frac{36m}{60seg}} = 0'61 \frac{seg}{botella}$$

Conocido el tiempo de acumulación t_{acum} es posible conocer el número de botellas en la cola que quedarán entre fotocélula y máquina.

$$n_{cola} = \frac{t_{blockON}}{t_{acum}} = \frac{2}{0'61} = 3'27 \text{ botellas} \approx 3 \text{ botellas}$$

Finalmente, la posición de la fotocélula quedará definida por (4.8):

$$d_{BI} = n_{cola} \times l_{máx} = 3'27 \times 0'18 = 0'59 m$$

En este caso hay que recordar una característica de esta zona y es que hay que evitar que la pesadora se quede con botellas paradas en las cintas que la componen ya que estas siempre están en marcha y acabarían provocando caídas y posibles derrames de producto, así como la no validez del pesado de cada botella. Para cumplir este requisito y debido al diseño de la línea, la solución empleada es colocar la fotocélula block a la distancia d_{BI} respecto de la pesadora. Para este caso, el cambio de estado a block en la llenadora deberá detener al mismo tiempo el transportador de salida de esta máquina para evitar que queden botellas en las cintas de la pesadora obteniendo un resultado similar al de la Figura 5.6.

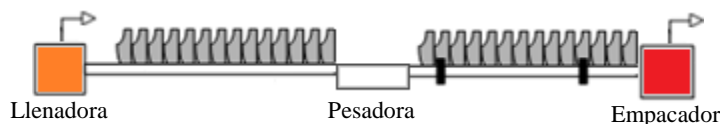


Figura 5.6, Resultado de estado block en llenadora.

Debido a que la posición de la fotocélula está calculada con el peor caso posible (botella de mayor tamaño), se debe recalcular de nuevo los tiempos t_{acum} y $t_{blockON}$ para optimizar estos tiempos para este formato de envase. Así, los tiempos t_{acum} y $t_{blockON}$ quedarán definidos con los siguientes valores.

$$t_{acum} = \frac{\left(\frac{v_{transp}}{v_{máq}} - l \right)}{v_{transp}} = \frac{\left(\frac{36 \frac{m}{min}}{85 \frac{botellas}{min}} - 0'16 \frac{m}{botella} \right)}{\frac{36m}{60seg}} = 0'44 \frac{seg}{botella}$$

$$t_{blockON} = t_{acum} \times \frac{d_{Bl}}{l} = 0'44 \frac{seg}{botella} \times \frac{0'59m}{0'16 \frac{m}{botella}} = 1'62 seg$$

Una vez definido este tiempo, se define el umbral de tiempo para el temporizador habilitado por la señal de inactivación de la fotocélula block y su correcto valor. El primer paso es calcular el tiempo que tarda en llegar la primera botella que sale de la llenadora a la fotocélula starve del empacador. Para ello, se aplica (4.9) tal que

$$t_{1^a Bot} = \frac{d}{v_{transp}} = \frac{10'85 - 2'4 m}{\frac{36m}{60seg}} = 14'08 seg$$

Una vez sabemos este tiempo, se procede a calcular el tiempo que tarda en llegar a la fotocélula starve de la máquina de destino la última botella de la cola de acumulación. Aplicando (4.10), se tiene que

$$t_{FBI-FSt} = \frac{d}{v_{empacador} \times l} = \frac{10'85 - 2'4 - 0'59 m}{85 \frac{botellas}{60seg} \times 0'16 \frac{m}{botella}} = 34'67 seg$$

Finalmente, utilizando (4.11) se puede obtener el umbral de tiempo $t_{blockOFF}$ con el que será programado el temporizador habilitado por la señal de inactivación de la fotocélula block, para una vez cumplido, enviar la señal de reinicio al controlador de la máquina aguas arriba. Con (4.11) se tiene que el umbral de tiempo es

$$t_{blockOFF} = t_{FBI-FSt} - t_{1^a Bot} = 34'67 - 14'08 = 20'59 segundos$$

La aplicación de este procedimiento de cálculo también se ha realizado en una hoja de cálculo que se puede encontrar en los Anexos para verificar el correcto funcionamiento de la hoja.

5.2 Botella de 2'5 Litros

La botella de 2'5 litros es el siguiente envase en la escala de tamaños. Se diferencia de la botella de 2 litros en altura y anchura. En la Figura 5.7 se muestra la anchura de la botella:



Figura 5.7, Anchura de la botella de 2'5 litros.

Acto seguido se procede a aplicar el modelado para cada una de las zonas que forman la línea de producción teniendo en cuenta las especificaciones de las máquinas situadas en cada zona, tal como muestra la Tabla 5.3.

	2'5 Litros
Anchura de la botella (mm)	168
Velocidad de trabajo del Orientador (bot/min)	90
Velocidad de trabajo de la Etiquetadora (bot/min)	85
Velocidad de trabajo de la Llenadora (bot/min)	79
Velocidad de trabajo del Empacador (bot/min)	85

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Velocidad transportadores (m/min)	48	44	36

Tabla 5.3, Parámetros de trabajo para la botella de 2'5 Litros.

Los resultados obtenidos con estos parámetros de trabajo se presentan en la siguiente hoja de cálculo. Nótese que los tiempos que son necesarios para los temporizadores están remarcados en color verde.

		ZONA 1					
		tstarveON					
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0					
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	2,72					

		ZONA 1					
		tacum	ncola	tblockON	t1°bot	tFBI-FS t	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,46	4,29	1,96	18,47	59,05	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						40,59

		ZONA 2					
		tstarveON					
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0					
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	3,09					

		ZONA 2					
		tacum	ncola	tblockON	t1°bot	tFBI-FS t	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,48	3,87	1,84	3,23	7,78	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						4,54

		ZONA 3					
		tstarveON					
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0					
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	3,03					

		ZONA 3					
		tacum	ncola	tblockON	t1°bot	tFBI-FS t	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,43	3,51	1,50	14,08	33,03	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						18,94

Tabla 5.4, Resultado de la aplicación del modelo para la botella de 2’5 Litros.

5.3 Botella de 3 Litros

La botella de 3 litros es el siguiente envase en la escala de tamaños. Se diferencia de la botella de 2'5 en su anchura. En la Figura 5.8 se muestra este parámetro:

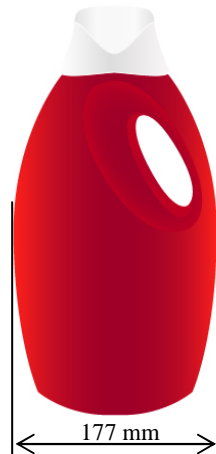


Figura 5.8, Anchura de la botella de 3 litros.

A continuación se aplica el modelado en cada una de las zonas definidas de la línea de producción, teniendo en cuenta las especificaciones de maquinaria propias para este formato de envase tal como muestra la Tabla 5.5.

	3 Litros
Anchura de la botella (mm)	174
Velocidad de trabajo del Orientador (bot/min)	82
Velocidad de trabajo de la Etiquetadora (bot/min)	75
Velocidad de trabajo de la Llenadora (bot/min)	66
Velocidad de trabajo del Empacador (bot/min)	78

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Velocidad transportadores	48	44	36
Tiempo de paso por fotocélula (τ)	1,22	1,24	1,30

Tabla 5.5, Parámetros de trabajo para la botella de 3 Litros.

Al igual que para la botella de 2'5 litros, los resultados obtenidos con estos parámetros de trabajo se presentan en la siguiente hoja de cálculo.

		ZONA 1					
		tstarveON					
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0					
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	2,87					

		ZONA 1					
		tacum	ncola	tblockON	t1°bot	tFBI-FS t	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,51	4,14	2,13	18,47	64,62	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						46,15

		ZONA 2					
		tstarveON					
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0					
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	3,35					

		ZONA 2					
		tacum	ncola	tblockON	t1°bot	tFBI-FS t	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,56	3,74	2,10	3,23	8,99	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						5,75

		ZONA 3					
		tstarveON					
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0					
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	2,92					

		ZONA 3					
		tacum	ncola	tblockON	t1°bot	tFBI-FS t	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,48	3,39	1,62	14,08	34,75	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						20,66

Tabla 5.6, Resultado de la aplicación del modelo para la botella de 3 Litros.

5.4 Botella de 3'25 Litros

La botella de 3'25 litros es el envase de mayor capacidad de todas los que se producen. Presenta mayor altura y anchura respecto los demás formatos.



Figura 5.9, Anchura de la botella de 3'25 litros.

Teniendo en cuenta las especificaciones de maquinaria propias para este formato de envase tal como muestra la Tabla 5.7, se aplica el modelado en cada una de las zonas definidas de la línea de producción.

	3'25 Litros
Anchura de la botella (mm)	180
Velocidad de trabajo del Orientador (bot/min)	82
Velocidad de trabajo de la Etiquetadora (bot/min)	75
Velocidad de trabajo de la Llenadora (bot/min)	66
Velocidad de trabajo del Empacador (bot/min)	78

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Velocidad transportadores	48	44	36
Tiempo de paso por fotocélula (τ)	1,23	1,25	1,30

Tabla 5.7, Parámetros de trabajo para la botella de 3'25 Litros.

Al igual que en los dos casos anteriores, los resultados obtenidos con estos parámetros de trabajo se presentan en la siguiente tabla.

		ZONA 1					
		tstarveON					
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0					
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	2,67					

		ZONA 1					
		tacum	ncola	tblockON	t1°bot	tFBI-FSt	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,51	3,95	2,00	18,47	62,47	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						44,00

		ZONA 2					
		tstarveON					
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0					
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	3,03					

		ZONA 2					
		tacum	ncola	tblockON	t1°bot	tFBI-FSt	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,55	3,61	2,00	3,23	8,69	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						5,46

		ZONA 3					
		tstarveON					
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0					
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	2,56					

		ZONA 3					
		tacum	ncola	tblockON	t1°bot	tFBI-FSt	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,61	3,28	2,00	14,08	33,59	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						19,50

Tabla 5.8, Resultado de la aplicación del modelo para la botella de 3'25 Litros.

Con la definición de estos tiempos para los temporizadores introducidos en el programa que controla el PLC de cada máquina se asegura una menor cantidad de paradas y el máximo tiempo en marcha de cada una de éstas, así como la seguridad de que no se producirán desperfectos en las máquinas debido a una cola demasiado larga de envases. Estos parámetros repercuten directamente en la fiabilidad de la línea, pues son claves para disminuir el número de paradas, obtener un menor tiempo entre paradas y asegurar que no se producirán atranques por este motivo.

6 Prueba dinámica del modelado

6.1 Introducción

La prueba dinámica trata de dar validez a los tiempos obtenidos mediante la aplicación del modelado: proporciona información sobre la correcta localización de las fotocélulas en los diferentes tramos de transportadores que unen las estaciones de trabajo así como el correcto umbral de trabajo del temporizador digital que activa cada fotocélula y la velocidad de cada transportador.

Está compuesta de seis pruebas a realizar en cada una de las zonas anteriormente descritas para comprobar y validar su correcto funcionamiento para cada formato de botella.

6.2 Pruebas de la aplicación del modelado

1. Cada uno de las siguientes pruebas será identificada con un código abreviado por siglas para cada una de las máquinas. De este modo, cada código de prueba contiene cuatro letras. En todas ellas, D, U, F, R, S y B significan Downstream (máquina de destino del envase en la línea de producción), Upstream (máquina de destino del envase en la línea de producción), Fail, Reinicio, Starve y Block. Además, las dos primeras letras indican la causa y las últimas dos describen el resultado debido a esta causa. Por ejemplo, FDBU significará un Fail en la Downstream que provoca un estado Block en la Upstream.
2. En el gráfico descriptivo de cada una de estas pruebas, las siglas con color de fondo representan la causa mientras que las de fondo blanco representan el resultado. Se entenderá el fondo rojo como un fallo de máquina mientras que el verde se interpretará por una resolución del problema en el equipo. Por otra parte, las botellas en gris están en el transportador cuando sucede la causa, mientras que las de color cian son nuevas botellas generadas por la upstream.

6.2.1 Código: FDBU (Fail Downstream Block Upstream)

Objetivo: comprobar si la Upstream se detendrá durante la rampa de parada.

Estado inicial: la pareja de máquinas y el sistema entero se encuentran en estado run.

Acciones a realizar durante la prueba:

1. Se detendrá la Downstream simulando un fallo en el proceso y se esperará hasta que la Upstream se bloquee por la señal de su fotocélula block.
2. Después de que la Upstream quede en estado block se chequeará si el transportador está casi completamente lleno. En caso contrario, se puede optar por aumentar el umbral de tiempo t_{block} para la fotocélula block del equipo de origen de las botellas.

Estado final después del test: la Downstream permanece parada y la Upstream en estado block. El transportador que las une estará lleno sin espacios entre botellas.

Gráfico descriptivo:

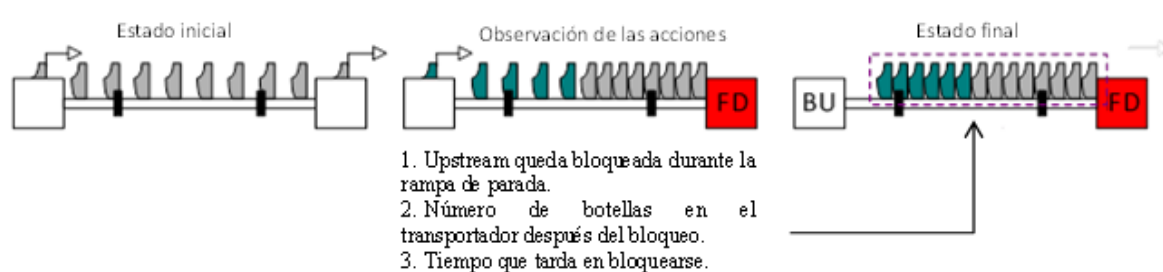


Figura 6.1. FDBU, Fallo Downstream Block Upstream

6.2.2 Código: RDS (Reinicio Downstream Starve Downstream)

Objetivo: comprobar si la Downstream queda en estado starve después de su reinicio.

Estado inicial: Downstream parada y Upstream en estado block. (Estado final de la prueba anterior)

Acciones a realizar durante la prueba:

1. Se reinicia la Downstream.
2. Se observa si la Downstream queda en estado starve después de su reinicio. Si produce todas las botellas que había sobre el transportador antes de que las nuevas botellas generadas por la Upstream lleguen a activar la fotocélula starve, la Downstream quedará en espera. Si esto ocurriera, es importante recordar el tiempo entre que la Downstream reinicia su marcha para incrementarlo al umbral de tiempo programado en el temporizador que activa dicha fotocélula.

Estado final después del test: después de dos minutos, la velocidad de trabajo deberá ser constante de nuevo.

Gráfico descriptivo:



Figura 6.2. RDS, Reinicio Downstream Starve Downstream

6.2.3 Código: RDBU (Reinicio Downstream Block Upstream)

Objetivo: comprobar si la Upstream entra en block debido al reinicio de la Downstream.

Estado inicial: Downstream parada y Upstream en estado block. Estado final de la primera prueba.

Acciones a realizar durante la prueba:

1. Se reinicia la Downstream.
2. La Upstream no se debería bloquear después de que la Downstream reinicie y mantenga su marcha. Se deja funcionar el sistema durante dos minutos hasta que alcance una velocidad de trabajo constante para ver si este fenómeno ocurre.

Estado final después del test: después de dos minutos, la velocidad de trabajo deberá ser constante nuevamente.

Gráfico descriptivo:

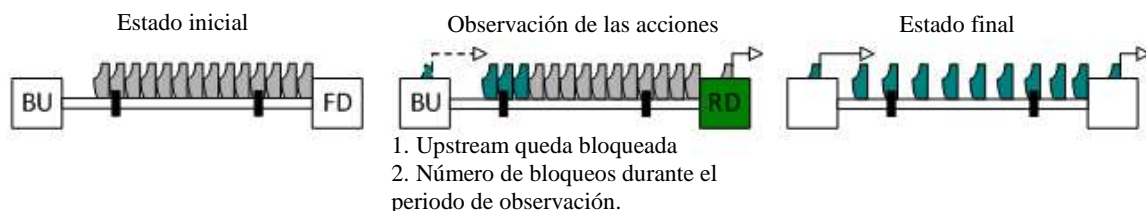


Figura 6.3. RDBU, Reinicio Downstream Block Upstream

Nota: RDBU ocurre porque se cumple una o más de las siguientes condiciones:

- La Upstream trabaja mucho más rápido que la Downstream.
- La fotocélula de bloqueo está situada demasiado cerca de la Upstream.
- El umbral de tiempo para fotocélula block activa es demasiado corto.

Si este suceso ocurre más de una vez durante el periodo de observación, esto implica que una vez el sistema esté trabajando en régimen estable, la upstream podrá bloquearse de nuevo ocasionalmente por alguna de las razones listadas anteriormente.

6.2.4 Código: FUSD (Fallo Upstream Starve Downstream)

Objetivo: comprobar si la Downstream queda en espera durante la rampa de parada.

Estado inicial: el par de máquinas y la línea entera funcionan se encuentran en estado run.

Acciones a realizar durante la prueba:

1. Se para la Upstream y se espera hasta que la Downstream se quede en espera debido a la señal de su fotocélula starve.
2. Después que esto ocurra, se cuentan el número de botellas que quedan en el transportador. Si las botellas mantienen su movimiento hacia la Downstream antes que la rampa de parada llegue a 0, se recuerda este evento. En este caso, el transportador quedará totalmente vacío por lo que lo más conveniente será disminuir el umbral de tiempo t_{starve} para la fotocélula starve inactiva, teniendo en cuenta que no sea menor al tiempo de paso de una botella por esta fotocélula.

No se reinicia la marcha de la Upstream después de este paso.

Estado final después del test: la Upstream permanece parada y la Downstream en espera.

El transportador estará con algunas botellas o totalmente vacío.

Gráfico descriptivo:

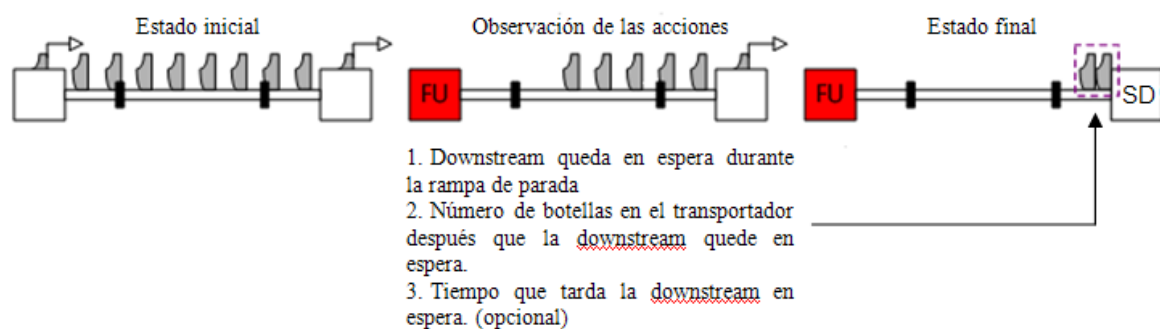


Figura 6.4. FUSD, Fallo Upstream Starve Downstream

6.2.5 Código: RUBU (Reinicio Upstream Bloqueo Upstream)

Objetivo: comprobar si la Upstream se bloquea debido al reinicio de sí misma.

Estado inicial: la Upstream permanece parada, la Downstream está en espera y el transportador entre ellas tiene algunas (o ninguna) botellas acumuladas delante de la Downstream. (Estado final de la prueba anterior)

Acciones a realizar durante la prueba:

1. Reiniciar la Upstream y ver si se bloquea cuando reinicia su marcha porque la Downstream no reinicia suficientemente a tiempo.

Estado final después del test: después de haber funcionado la línea durante 2 minutos ésta debería recuperar el ritmo normal de trabajo.

Gráfico descriptivo:

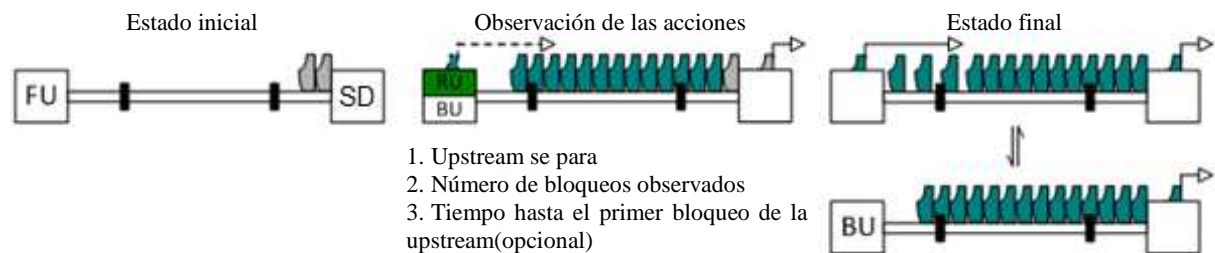


Figura 6.5. RUBU, Reinicio Upstream Block Upstream

Nota: RUBU ocurre porque se cumple una o más de las siguientes condiciones:

- El Upstream trabaja mucho más rápido que la Downstream.
- La fotocélula de parada está situada demasiado cerca de la Upstream.
- El umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva es demasiado corto.

De igual modo que en el paso tres, si este suceso ocurre más de una vez durante el periodo de observación, esto implica que una vez el sistema esté trabajando en régimen estable, la Upstream podrá bloquearse de nuevo ocasionalmente por alguna de las razones listadas anteriormente.

6.2.6 Código: RUSD (Reinicio Upstream Starve Downstream)

Objetivo: comprobar si la Downstream se para debido al reinicio de la Upstream.

Estado inicial: la Upstream permanece parada, la Downstream está en espera y el transportador entre ellas tiene algunas (o ninguna) botellas acumuladas delante de la Downstream. (Estado final del paso 4).

Acciones a realizar durante la prueba:

1. Reiniciar la Upstream y ver si la Downstream entra en estado starve nuevamente después de reiniciar su marcha porque la Upstream no tiene una velocidad suficientemente rápida de trabajo.

Estado final después del test: después de haber funcionado la línea durante 2 minutos ésta debería recuperar el ritmo normal de trabajo.

Gráfico descriptivo:

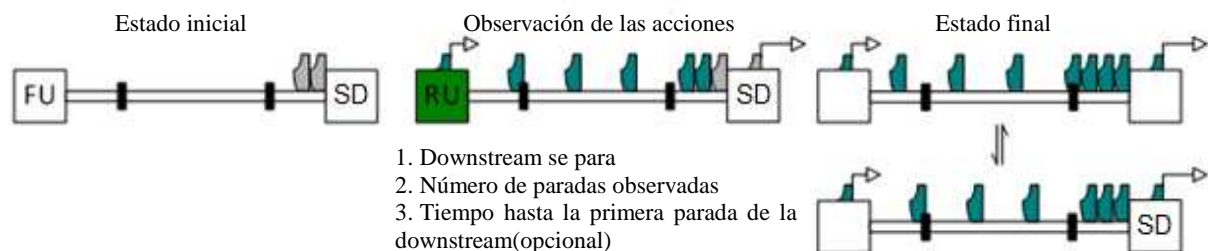


Figura 6.6. RUSD, Reinicio Upstream Starve Downstream

Nota: RUSD ocurre porque se cumple una o más de las siguientes condiciones:

- El Downstream trabaja más rápido que el Upstream.
- La fotocélula starve está situada demasiado cerca del Upstream.
- El umbral de tiempo para fotocélula starve activa es demasiado corto.

De igual modo que en el paso tres y cinco, si este suceso ocurre más de una vez durante el periodo de observación, esto implica que una vez el sistema esté trabajando en régimen

estable, la Upstream podrá bloquearse de nuevo ocasionalmente por alguna de las razones listadas anteriormente.

6.3 Resultados de las pruebas en la línea de producción real

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 2 Litros	Respuesta	
Orientador & Etiquetadora	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Sí	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	-	
	RDSD	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.1, Resultados para la botella de 2 litros en el tramo Orientador- Etiquetadora.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 2 Litros	Respuesta	
Etiquetadora & Llenadora	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Sí	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	-	
	RDSD	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Sí	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.2, Resultados para la botella de 2 litros en el tramo Etiquetadora-Llenadora.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 2 Litros	Respuesta	
Llenadora & Empacador	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Si	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	10 botellas	
	RDSD	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.3, Resultados para la botella de 2 litros en el tramo Llenadora-Empacador.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 2'5 Litros	Respuesta	
Orientador & Etiquetadora	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Si	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	-	
	RDSD	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.4, Resultados para la botella de 2'5 litros en el tramo Orientador- Etiquetadora.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 2'5 Litros	Respuesta	
Etiquetadora & Llenadora	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Sí	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	-	
	RDSD	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Sí	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.5, Resultados para la botella de 2'5 litros en el tramo Etiquetadora-Llenadora.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 2'5 Litros	Respuesta	
Llenadora & Empacador	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Si	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	7 botellas	
	RDSD	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.6, Resultados para la botella de 2'5 litros en el tramo Llenadora-Empacador.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 3 Litros	Respuesta	
Orientador & Etiquetadora	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Sí	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	-	
	RDSD	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.7, Resultados para la botella de 3 litros en el tramo Orientador-Etiquetadora.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 3 Litros	Respuesta	
Etiquetadora & Llenadora	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Si	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	-	
	RDSB	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.8, Resultados para la botella de 3 litros en el tramo Etiquetadora-Llenadora.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 3 Litros	Respuesta	
Llenadora & Empacador	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Si	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	5 botellas	
	RDSB	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.9, Resultados para la botella de 3 litros en el tramo Llenadora-Empacador.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 3'25 Litros	Respuesta	
Orientador & Etiquetadora	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Si	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	-	
	RDSB	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.10, Resultados para la botella de 3'25 litros en el tramo Orientador-Etiquetadora.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 3'25 Litros	Respuesta	
Etiquetadora & Llenadora	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Sí	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	-	
	RDSD	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Sí	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Sí	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Sí	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.11, Resultados para la botella de 3'25 litros en el tramo Etiquetadora-Llenadora.

Pareja de máquinas	Código de la prueba	Formato de botella: 3'25 Litros	Respuesta	
Llenadora & Empacador	FBDU	1. ¿La Upstream entra en estado block durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Los transportadores están llenos de botellas?	Si	No
		3. Si no están lleno, cuanto espacio queda libre?	5 botellas	
	RDSB	1. ¿Entra la Downstream en estado Starve debido a su reinicio?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	
	RDBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	FUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante su rampa de parada?	Si	No
		2. ¿Hay botellas antes de la fotocélula starve?	Si	No
		3. En caso afirmativo, ¿cuántas hay?	-	
	RUBU	1. ¿Entra la Upstream en estado Block debido a su reinicio?	Si	No
	RUSD	1. ¿La Downstream entra en estado starve durante el reinicio de la Upstream?	Si	No
		2. Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿con cuánto retraso llega la primera botella del orientador?	-	

Tabla 6.12, Resultados para la botella de 3'25 litros en el tramo Llenadora-Empacador.

7 Conclusiones

Este proyecto ha sido, sin duda alguna, un buen punto y final a cuatro años y medio de trabajo y esfuerzo para conseguir aquello por lo que llevas soñando desde pequeño: la consecución de un título universitario.

El hecho de desarrollar un proyecto para una aplicación real ha hecho más atractivo el reto de realizar este trabajo de final de carrera: *Diseño e implementación de la lógica de acumulación de producto en una línea de envasado* ha cumplido con creces con las expectativas y los requisitos técnicos que se habían marcado. Aquello que hace unos meses era una idea hoy se ha convertido en una realidad.

No ha sido un camino fácil. Se ha comenzado partiendo de una línea de envasado real de nueva instalación donde la acumulación de los envases cuando se producían paradas era casi inexistente. Las máquinas arrancaban y paraban sin explicación lógica alguna, lo que suponía un auténtico quebradero de cabeza para los operadores.

La parte más difícil ha sido adquirir la experiencia de trabajar con botellas y la respuesta que tienen éstas en el transportador o los problemas que ocasiona un envase con cantos redondeados ya que la posición de las botellas no es siempre la misma en un mismo metro de transportador. Si a eso le sumamos que la situación de una fotocélula en la línea de producción debe funcionar para 4 formatos, los problemas se multiplican.

La idea de hacer un modelo que pudiera ser utilizado no sólo para esta aplicación concreta sino para líneas de producción destinadas a otro tipo de envase ha sido un acierto total. El tiempo invertido en la determinación de este y las soluciones propuestas para algunos casos concretos ha sido compensado con creces en ahorro de tiempo evitando obtener los presets con los que debía trabajar cada temporizador activado por las diferentes señales provenientes de las fotocélulas con el método de prueba y error, reduciendo también un factor muy valioso y que muchas veces no se tiene en cuenta en una línea de producción: el esfuerzo humano.

Resaltar que los resultados obtenidos son muy satisfactorios. Excepto en algún caso muy puntual (prueba con código de identificación RDBU para el par de máquinas etiquetadora-

llenadora) donde los tiempos reales para obtener el resultado deseado distaban del calculado con el modelo, los demás tiempos han sido muy aproximados, con una desviación media del orden de ± 1 segundo. Se da la casualidad que este tramo es el más corto, por lo que el margen de maniobra es menor y debe ser optimizado in situ para verificar realmente el comportamiento.

Desde un punto de vista humano, el proyecto contiene mucho valor añadido ya que dio lugar a una experiencia humana muy enriquecedora. Ha estado un ejercicio muy útil desde el punto de vista didáctico porque ha permitido llevar a la práctica muchos de los conocimientos que se han ido adquiriendo a lo largo de los estudios de ingeniería, más en concreto en la rama de la automatización. Además, la oportunidad de trabajar codo a codo con una línea de envasado real y para una empresa tan importante en el sector como es Procter&Gamble es una fuente muy valiosa para una futura experiencia laboral.

8 Impacto ambiental

Conocido es por muchos que el reciclaje es un tema que está a la orden del día y actualmente muy en concreto en el plástico, consiguiendo eliminar las antiguas bolsas de plástico de los supermercados implantando bolsas realizadas de otros materiales y de más de un uso.

En una línea de producción la cantidad de desechos que se generan es muy grande: plásticos, papeles, cola, envases, cartones... Si esto lo multiplicamos por el número de turnos que está en producción y/o por el número de líneas que haya en una sola fábrica, la cantidad es mucho mayor.

Así, con el presente proyecto se intenta reducir el número de envases que puedan ser dañados a consecuencia de una mala acumulación y, en consecuencia, enviados a reciclar. En muchos casos el envase ya está lleno de producto, por lo que el proceso de reciclaje resulta más largo y genera más desechos y energía consumida. Este proceso de reciclaje a veces no se tiene en cuenta como un coste, cosa que es totalmente errónea.

Por último y de una manera involuntaria, evitar que las máquinas y transportadores paren frecuentemente su marcha provoca un gasto extra de energía eléctrica, ya que un motor consume menos energía durante su régimen nominal y consume más energía en las arrancadas.

9 Referencias

9.1 Bibliografía

SAFONT, R. (2009). *Automatizació*. EUPMT. Mataró

DOMINGO, J. GÁMIZ, J. GRAU, A. MARTÍNEZ, H. *Introducción a los autómatas programables*. Primera Edición. Ed. UOC.

TECTROL S.A.: *Lay-Out HDL Línea 2 Procter&Gamble Mataró*. Barcelona

ORIENTADOR. *Guía del usuario y mantenimiento del equipo*.¹

ETIQUETADORA. *Guía del usuario y mantenimiento del equipo*.²

LLENADORA. *Guía del usuario y mantenimiento del equipo*.³

EMPACADOR. *Guía del usuario y mantenimiento del equipo*.⁴

<http://www.rockwellautomation.com/>, Fabricante de material para la automatización a nivel mundial.

<http://www.sick.com/>, Fabricante de sensores de nivel mundial.

¹ Por confidencialidad no se detalla la marca y modelo del equipo.

² Por confidencialidad no se detalla la marca y modelo del equipo.

³ Por confidencialidad no se detalla la marca y modelo del equipo.

⁴ Por confidencialidad no se detalla la marca y modelo del equipo.

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

Ingeniería Técnica Industrial: Especialidad Electrónica Industrial

MODELADO DE LA LÓGICA DE ACUMULACIÓN DE PRODUCTO EN UNA LÍNEA DE ENVASADO

Estudio económico

**Darío Pozo Pozo
Jordi Ayza Graells**

TARDOR 2011



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Índice

1	Presupuesto	1
1.1	Costes directos	1
1.1.1	Costes de ingeniería	1
1.1.2	Costes de material	1
1.1.3	Amortización informática.....	1
1.1.4	Cálculo de los costes directos.....	2
1.2	Costes indirectos	2
1.3	Costes totales de desarrollo del proyecto.....	2

1 Presupuesto

1.1 Costes directos

1.1.1 Costes de ingeniería

Concepto	Horas	€/Hora	Total
Estudio y documentación	45	60	2700
Modelado	50	60	3000
Pruebas de funcionamiento	180	30	5400
Redacción de la memoria	58	30	1740

Total (€)	12840
------------------	-------

1.1.2 Costes de material

Concepto	Cantidad	€	Total
Fotocélula	9	80	720
Cable 4x0'22	90	0,87	78,30

Total (€)	798,3
------------------	-------

1.1.3 Amortización informática

Equipo utilizado	Horas	€/Hora	Total
Ordenador	150	0,5	75
Microsoft Office	58	1	58

Total (€)	133
------------------	-----

1.1.4 Cálculo de los costes directos

Pertenecen a este grupo todos los costes de ingeniería, materiales y herramientas que intervienen en la implementación del modelo en una línea de envasado real:

Costes de ingeniería (€)			12840
Costes de material (€)			798,3
Costes de amortización (€)			133

Total (€)			13771,3
------------------	--	--	---------

1.2 Costes directos

Para valorar con exactitud los costes que se imputan a un proyecto se tienen que contar los costes indirectos. En una empresa real se podrían calcular con más o menos exactitud y normalmente representan entre el 10% y el 25% de los costes directos. Pero en un proyecto como este es muy difícil de valorar, por lo que se le asigna un valor del 10% de los costes directos para los costes indirectos:

Costes indirectos (€)	1377,13
-----------------------	---------

1.3 Costes totales de desarrollo del proyecto

Costes directos (€)	13771,3
Costes indirectos (€)	1377,13

Total	15148,43
-------	----------

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA**

Ingeniería Técnica Industrial: Especialidad Electrónica Industrial

MODELADO DE LA LÓGICA DE ACUMULACIÓN DE PRODUCTO EN UNA LÍNEA DE ENVASADO

Anexos

**Darío Pozo Pozo
Jordi Ayza Graells**

TARDOR 2011



**TecnoCampus
Mataró-Maresme**

Índice

Anexo I. Hoja de cálculo de la botella de 2 Litros.....	1
Anexo II. Contenido del CD-ROM.....	2

Anexo I. Hoja de cálculo de la botella de 2 litros

PARÁMETROS DE TRABAJO

	2 Litros	
Longitud de la botella (mm)	160	
Velocidad de trabajo del Orientador (bot/min)	90	
Velocidad de trabajo de la Etiquetadora (bot/min)	85	
Velocidad de trabajo de la Llenadora (bot/min)	79	
Velocidad de trabajo del Empacador (bot/min)	85	

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Velocidad transportadores	48	44	36
Tiempo de paso por fotocélula (τ)	1,20	1,22	1,27

	Etiquetadora	Llenadora	Empacador
Número mínimo de botellas a la entrada	4	7	10

	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	dSt	dBl	dSt	dBl	dSt	dBl
Distancia máquina-fotocélula (m)	1,32	0,72	1,86	0,65	2,4	0,59

CÁLCULO DE TIEMPOS

ZONA 1

		ZONA 1	
		tstarveON	
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0	
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	3,00	

		ZONA 1					
		tacum	ncola	tblockON	t ¹ bot	tFBI-FSt	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,47	4,50	2,10	18,47	62,01	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						43,54

ZONA 2

		ZONA 2	
		tstarveON	
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0	
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	3,51	

		ZONA 2					
		tacum	ncola	tblockON	t ¹ bot	tFBI-FSt	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,49	4,06	1,98	3,23	8,16	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						4,93

ZONA 3

		ZONA 3	
		tstarveON	
Starve	Umbral de tiempo para fotocélula starve inactiva (s)	0	
	Umbral de tiempo para fotocélula starve activa (s)	3,53	

		ZONA 3					
		tacum	ncola	tblockON	t ¹ bot	tFBI-FSt	tblockOFF
Block	Umbral de tiempo para fotocélula block inactiva (s)	0,44	3,69	1,62	14,08	34,68	
	Umbral de tiempo para fotocélula block activa (s)						20,59

Anexo II. Contenido del CD-ROM

- Memoria del proyecto
- Hoja de cálculo de los diferentes formatos de botella

