

GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS Y MEJORA DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SILICATOS DE MALPICA MEDIANTE FLEXSIM

Alumno: Loglio Hardcastle, Javier Miguel

Director (1): Ruiz de Arbulo Lopez, Patxi

Director (2): Rodriguez Martín, Jesús

Curso: 2017-2018

Fecha: 18 de julio de 2018

Contenido

Resumen.....	iii
Laburpena	iii
Abstract	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Listado de siglas y acrónimos	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. CONTEXTO	2
3. OBJETIVOS Y ALCANCE	4
4. BENEFICIOS DEL PROYECTO	5
5. METODOLOGÍA.....	6
6. MARCO TEÓRICO: LA SIMULACIÓN.....	7
6.1 Introducción	7
6.1.1 Ámbitos de aplicación	7
6.1.2 Tipos de simulación	7
6.2 Simuladores.....	7
6.2.1 Witness.....	7
6.2.2 Arena	8
6.2.3 Flexsim.....	8
6.2.4 Comparación simuladores.....	8
6.3 Flexsim.....	9
6.3.1 Metodología para simular	9
6.3.2 Descripción técnica	11
7. ANÁLISIS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN	19
7.1 Introducción	19
7.2 Descripción del caso de estudio.....	19
7.3 Creación del modelo	24
7.3.1 Paso 1: Añadir objetos.....	25
7.3.2 Paso 2: Conexión de puertos.....	27
7.3.3 Paso 3: Definir las propiedades de los objetos	28
7.4 Ejecuta el modelo.....	45
7.4.1 Identificación del cuello de botella	45
7.4.2 Estudio silos de mezcla.....	48

7.5 Propuestas de mejora	50
Caso 1. Silos de mezcla.....	50
Caso 2. Mejora del cuello de botella.....	55
Caso 3. Combinación de los dos casos de estudio analizados.	62
7.6 Conclusiones.....	65
Caso 1	65
Caso 2	65
Caso 3	66
8. DIAGRAMA GANTT	67
9. DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO	68
10. BIBLIOGRAFÍA.....	70

Resumen

La industria se encuentra en un ambiente cada vez más competitivo en el que las empresas buscan nuevas formas de mejorar y conseguir una ventaja competitiva en el mercado.

En el ámbito industrial, las herramientas informáticas como los softwares de simulación permiten a las empresas estudiar y analizar sus procesos actuales, así como alternativas de mejora a través de la simulación virtual de procesos.

En el presente trabajo se realiza el estudio de la línea de Silicatos de Malpica, identificando los cuellos de botella existentes, y proponiendo algunas alternativas de mejora a través de la representación virtual de la planta industrial con el software Flexsim.

Por otra parte, con este estudio, se pone a disposición de futuros alumnos de Ingeniería en Organización Industrial un ejemplo de simulación virtual de procesos, para facilitar el aprendizaje y manejo del software.

Palabras clave

Ventaja competitiva, softwares de simulación, alternativas de mejora, cuellos de botella, Flexsim.

Laburpena

Industria gero eta ingurumen lehiakorrago batean aurkitzen da, hori dela eta enpresek hobetzeko modu berriak eta merkatuan abantaila lehiakor bat lortzea bilatzen dute.

Industri arloan, simulazio-softwareko tresna informatikoen egungo prozesuak ikasteko eta aztertzeke aukera ematen die enpresei, eta simulaketa prozesu birtualaren bidez hobekuntza alternatiboak ere.

Lan honetan Malpica Silikatoen linearen azterketa egiten da, izatedun botilen lepoa identifikatzen, eta hainbat hobekuntza alternatibo proposatzen Flexsim softwarearekin industria-lantegiaren ordezkartza birtualaren bidez.

Bestalde, ikerlan honekin, Industria Antolakuntzako Ingeniaritzako graduako etorkizuneko ikasleei eskuragarri ipintzen da prozesu simulazio birtualen adibide bat, softwarearen ikaskuntza eta kudeaketa errazteko.

Gako-hitzak

Abantaila lehiakorra, simulazio softwarea, hobetzeko alternatibak, botila-lepoak, Flexsim.

Abstract

The industry is in an increasingly competitive environment in which companies seek new ways to improve and achieve a competitive advantage in the market

In the industrial field, computer tools such as simulation software allow companies to study and analyze their current processes, as well as alternatives for improvement through virtual process simulation.

In the present project the Silicatos de Malpica's line research is carried out, identifying existing bottlenecks, and proposing some alternatives for improvement through the virtual representation of the industrial plant with the Flexsim software.

On the other hand, this research makes available to future students of Engineering in Industrial Organization access to an example of virtual simulation of processes, to facilitate the learning and management of the software.

Keyword

Competitive advantage, simulation softwares, improvement alternatives, bottlenecks, Flexsim

Índice de tablas

Tabla 1. Ponderación de los criterios de selección	8
Tabla 2. Selección del software.....	9
Tabla 3. Objetos Flexsim a explicar	11
Tabla 4. Descripción de tareas, arena de sílice	21
Tabla 5. Descripción de tareas, carbonato.....	22
Tabla 6. Descripción de tareas posterior a básculas de pesaje.....	24
Tabla 7. Objetos Flexsim de la línea SIMAL.....	26
Tabla 8. Resumen output rates, outputs y tiempo ciclo	48
Tabla 9. Resumen output rates, outputs y tiempo ciclo, caso de estudio 2	60
Tabla 10. Comparación tiempo ciclo versión original vs propuesta de mejora	61
Tabla 11. Descripción de tareas	67
Tabla 12. Coste del personal	68
Tabla 13. Amortización.....	69
Tabla 14. Gastos	69
Tabla 15. Presupuesto.....	69

Índice de figuras

Figura 1. Propiedades source	12
Figura 2. Propiedades queue.....	12
Figura 3. Propiedades conveyor.....	13
Figura 4. Propiedades rack	14
Figura 5. Propiedades item to fluid.....	14
Figura 6. Propiedades fluid to item	15
Figura 7. Propiedades fluid pipe.....	15
Figura 8. Propiedades fluid tank 1.....	15
Figura 9. Propiedades fluid tank 2.....	16
Figura 10. Propiedades fluid mixer 1	16
Figura 11. Propiedades fluid mixer 2	17
Figura 12. Propiedades fluid conveyor.....	17
Figura 13. Propiedades fluid processor.....	18
Figura 14. Diagrama de flujo de SIMAL, planta de silicato sólido	20
Figura 15. Model units	25
Figura 16. Zona de simulación de las tablas 4 y 5	26
Figura 17. Zona de simulación de la tabla 6.....	27
Figura 18. Conexiones de la línea SIMAL.....	27
Figura 19. Propiedades generación de sílice	28
Figura 20. Propiedades generación de sílice, selección de color	29
Figura 21. Propiedades recepción de sílice	29
Figura 22. Propiedades distribuir sílice	29
Figura 23. Propiedades alimentación silo de sílice	30
Figura 24. Propiedades silo de sílice	30
Figura 25. Propiedades conexión báscula de sílice	31
Figura 26. Propiedades báscula de sílice, caudales.....	32
Figura 27. Propiedades báscula de sílice, etapas e ingredientes	32
Figura 28. Propiedades generación de carbonato	33
Figura 29. Propiedades distribuir carbonato.....	33
Figura 30. Propiedades alimentación silo de carbonato.....	34
Figura 31. Propiedades silo de carbonato.....	35
Figura 32. Propiedades conexión báscula de carbonato	35
Figura 33. Propiedades báscula de carbonato, caudales	35
Figura 34. Propiedades báscula de carbonato, etapas e ingredientes	36
Figura 35. Propiedades mezcladora, caudales.....	36
Figura 36. Propiedades mezcladora, etapas e ingredientes	37
Figura 37. Propiedades elevador.....	38
Figura 38. Propiedades roscas 1, 2 y 3, caudales	38
Figura 39. Propiedades roscas 1, 2, 3 y 5, etapas e ingredientes	39
Figura 40. Propiedades rosca 4	39
Figura 41. Propiedades silo de mezcla 3	40
Figura 42. Propiedades silo de mezcla 4	40
Figura 43. Propiedades hornos	41
Figura 44. Propiedades composiciones.....	41
Figura 45. Propiedades composiciones, color.....	42

Figura 46. Propiedades almacén	42
Figura 47. Time table, toolbox	43
Figura 48. Propiedades time table básculas, miembros	43
Figura 49. Propiedades time table básculas, tabla.....	44
Figura 50. Propiedades time table silo de mezcla 3, miembros	44
Figura 51. Propiedades time table silo de mezcla 4, miembros	44
Figura 52. Propiedades time table silo de mezcla 3, tabla.....	45
Figura 53. Propiedades time table silo de mezcla 4, tabla.....	45
Figura 54. Quick properties, báscula de sílice	46
Figura 55. Quick properties, báscula de carbonato	46
Figura 56. Quick properties, mezcladora	47
Figura 57. Quick properties, silo de mezcla 3	47
Figura 58. Quick properties, silo de mezcla 4	47
Figura 59. Quick properties, horno 3	47
Figura 60. Quick properties, horno 4	48
Figura 61. Gráfica contenido vs tiempo, silo de mezcla 3.....	49
Figura 62. Gráfica contenido vs tiempo, silo de mezcla 4.....	49
Figura 63. Propiedades silo de mezcla 3, caso de estudio 1	50
Figura 64. Propiedades silo de mezcla 4, caso de estudio 1	51
Figura 65. Localización conexiones nuevas, caso de estudio 1	51
Figura 66. Propiedades conexión nueva 1, caso de estudio 1	51
Figura 67. Propiedades conexión nueva 2, caso de estudio 1	52
Figura 68. Propiedades time table básculas, caso de estudio 1.....	52
Figura 69. Propiedades time table silo de mezcla 3, miembros, caso de estudio 1	52
Figura 70. Propiedades time table silo de mezcla 3, tabla, caso de estudio 1.....	53
Figura 71. Propiedades time table silo de mezcla 4, miembros, caso de estudio 1	53
Figura 72. Propiedades time table silo de mezcla 4, tabla, caso de estudio 1.....	53
Figura 73. Gráfica contenido vs tiempos silo de mezcla 3, caso de estudio 1	54
Figura 74. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 4, caso de estudio 1.....	54
Figura 75. Porcentaje actividad de básculas en la versión original.....	54
Figura 76. Porcentaje actividad de básculas en el caso de estudio 1	55
Figura 77. Propiedades silo de mezcla 3, caso de estudio 2	56
Figura 78. Propiedades alimentación horno 3, caso de estudio 2	56
Figura 79. Porcentaje actividad básculas, caso de estudio 2	57
Figura 80. Quick properties silo de mezcla 3, caso de estudio 2	58
Figura 81. Quick properties silo de mezcla 4, caso de estudio 2	59
Figura 82. Quick properties horno 3, caso de estudio 2	59
Figura 83. Quick properties horno 4, caso de estudio 2	59
Figura 84. Quick properties mezcladora, caso de estudio 2	59
Figura 85. Quick properties báscula de sílice, caso de estudio 2	60
Figura 86. Quick properties báscula de carbonato, caso de estudio 2	60
Figura 87. Quick properties rack, caso de estudio 2	61
Figura 88. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 3, caso de estudio 2.....	61
Figura 89. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 4, caso de estudio 2.....	62
Figura 90. Propiedades time table silo parada básculas, tabla, caso de estudio 3.....	63
Figura 91. Propiedades time table silo de mezcla 3, miembros, caso de estudio 3	63
Figura 92. Propiedades time table silo de mezcla 4, miembros, caso de estudio 3	63
Figura 93. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 3, caso de estudio 3.....	64

Figura 94. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 4, caso de estudio 3.....	64
Figura 95. Diagrama de Gantt	67

Listado de siglas y acrónimos

IQE: Industrias Químicas del Ebro

SIMAL: Silicatos de Malpica

UPV: Universidad del País Vasco

GPSS: General Purpose System Simulator

IBM: International Business Machines

TFG: Trabajo Fin de Grado

EIB: Escuela de Ingeniería de Bilbao

LIFO: Last In First Out

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se presenta un análisis de cuellos de botella de la línea de producción de Silicatos de Malpica [SIMAL], a través de Flexsim, un software de simulación virtual con el que poder favorecer la comprensión y visualización de la línea, así como apoyar el análisis con estadísticas facilitadas por el programa.

En primer lugar, se contextualiza la situación de la empresa, así como el desarrollo y los beneficios del uso de simuladores virtuales, como el Flexsim, además de explicar brevemente algunos aspectos técnicos de la programación necesaria de este programa.

Una vez introducidos dichos aspectos, se procede a realizar el análisis comenzando por una descripción del caso de estudio, analizando los diferentes elementos que tienen lugar en la producción de SIMAL para finalizar con la propuesta de alguna mejora que se detecte. De este modo, se comprueban los beneficios y efectos que tienen las mejoras propuestas sobre la línea de producción apoyándose en estadísticas e información que facilita el simulador.

El presente proyecto, no es sólo de interés para la empresa SIMAL, sino que presenta también una función docente, al suministrar a futuros alumnos de Ingeniería en Organización Industrial un ejemplo de análisis a través de simulación virtual de una línea de producción, facilitando el aprendizaje de programación de estos softwares.

2. CONTEXTO

En la actualidad, la globalización es un proceso que todas las empresas han asumido, que está convirtiendo al mundo en un lugar sin fronteras e interconectado, y que modifica la forma en la que los diferentes mercados y empresas interactúan. [1]

Debido a la globalización, existe una mayor competencia entre los diferentes entes que participan en los diversos mercados que existen en el mundo, y gracias a esto, los clientes y consumidores pueden tener a su disposición productos y servicios a un precio atractivo. Esto conlleva a que las empresas dispongan de un margen de beneficio cada vez menor y más ajustado, conduciendo a una necesidad de tener que mejorar continuamente para poder ser cada vez más competitivo.

Industrias Químicas del Ebro [IQE], empresa matriz del grupo formado por la ya citada empresa junto con SIMAL [Silicatos de Malpica] y Desilsa, participan en el sector de la fabricación de compuestos inorgánicos desde 1953, produciendo una amplia gama de productos como diferentes tipos de silicatos, sílices o aluminatos sódicos. [2]

Desde 1977, el grupo consiguió una gran expansión, alcanzando mercados internacionales y convirtiéndose en un proveedor de referencia internacional.

La compañía SIMAL, localizada en Bilbao, se especializa en la producción de silicatos sódicos y potásicos, tanto líquidos como sólidos que son uno de los productos químicos con mayor consumo del mercado, y están especialmente diseñados para fabricar jabones, detergentes o productos agrícolas. [3]

Para poder ir evolucionando se debe de mejorar continuamente, y es por ello que SIMAL desarrolla constantemente en sus laboratorio de investigación nuevos productos pasando por plantas piloto, para complementarse en plantas de producción industrial [4].

Dado el interés de SIMAL por la mejora continua, la UPV [Universidad del País Vasco] contacta con la empresa para analizar la planta de producción de SIMAL, y a través de herramientas de simulación poder estudiar mejoras a implantar en su línea de producción.

La aparición de los simuladores virtuales supuso una gran mejora en diferentes sectores y a lo largo de la historia se han ido desarrollando numerosos simuladores con objetivos didácticos, sociales, militares, etc.

Los simuladores surgen del método de Monte Carlo, que engloba un conjunto de procedimientos que se aplican en problemas matemáticos que consumen una gran cantidad de tiempo para su realización y que analizan distribuciones de variables aleatorias a través de experimentos con muestreos estadísticos.

A partir de los años 60 comenzaron a tener presencia en el mercado simuladores de sistemas discretos, entre los que destacaron GPSS [General Purpose System Simulator]

de IBM [International Business Machines] y el SIMSCRIPT. Dichos modelos discretos destacan por atender a los cambios que tienen lugar en el sistema en su capacidad para modelar aspectos aleatorios del sistema. Sin embargo, cuando realmente se produjo un gran avance en este sector, fue en los años 80, gracias a la revolución informática. [5]

De este modo, gracias al desarrollo de los simuladores se ha conseguido herramientas elaboradas con las que poder analizar los comportamientos del sistema y poder tomar decisiones en base a dichas simulaciones. Es debido a esto, que se está aplicando cada vez más el uso de estas herramientas informáticas en el ámbito industrial, y empresarial de procesos.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo del presente trabajo consiste en la realización de un análisis y propuesta de mejora de una línea de producción real, facilitada por la empresa SIMAL, con la ayuda de un software informático en el que poder hacer una representación virtual de la planta, facilitando la comprensión de la línea de producción, además de proporcionar información estadística útil para el análisis.

Por otra parte, también tiene una función docente, al facilitar a futuros alumnos de Ingeniería en Organización Industrial de un ejemplo detallado de simulación por medio de una herramienta informática.

Para delimitar el alcance del proyecto se establece que:

- La capacidad del software de simulación está limitada al contar para la realización del proyecto de una versión estudiantil, en la que se pueden incluir una cantidad de objetos menor que la versión original.

- No se realiza el estudio de toda planta industrial, analizando tan solo la parte correspondiente a la generación de silicato sólido, excluyendo así la de silicato líquido. Esto se debe al límite de la capacidad que ofrece la versión estudiantil del software informático que se va a utilizar, además de simplificar la complejidad del proyecto.

- El trabajo se centra sobre todo en el estudio de un sistema continuo, al tratar el producto químico que se fabrica como un fluido. No obstante, también se trabaja con algún elemento discreto de simulación¹.

- Las simulaciones se pueden realizar de diversas formas, y se ha realizado de la forma en la que el autor del estudio ha considerado más sencilla de elaborar y de entender.

- Por evitar mayores complejidades, se analiza tan solo a las máquinas y su distribución, y no se realiza por tanto, la representación de entes virtuales que representen a personas.

¹ En el capítulo 6 “marco teórico: la simulación”, se detalla la diferencia existente entre sistema continuo y discreto.

4. BENEFICIOS DEL PROYECTO

Para la empresa SIMAL

Se le presentan numerosas ventajas con la realización del presente proyecto, entre las que destacan:

- Optimización de la línea de producción, consiguiendo tener un informe que refleje el cuello de botella de la planta industrial, y posibles alternativas para reducir el tiempo de ciclo de producción

- Aparte de identificar cuellos de botella, permite contemplar alguna opción que pueda facilitar y aumentar el tiempo disponible para labores de mantenimiento necesarias.

- Permite contemplar las mejoras que se pueden conseguir con la realización de algunas inversiones en maquinaria e infraestructura nueva.

- Pone a disposición de la empresa una representación virtual y tridimensional de su línea, facilitando su análisis para futuras actividades.

Para alumnos

Por otra parte, al tener también una función didáctica para futuros alumnos de Ingeniería en Organización Industrial, también presenta algunos beneficios para los estudiantes:

- Disponer de un ejemplo más de simulación virtual, a través de la construcción de un modelo real como es la línea de producción de SIMAL, para introducirse en el mundo de la simulación de procesos.

- Permite a los estudiantes aplicar los conocimientos adquiridos durante su formación universitaria con una herramienta útil y de interés para su desarrollo profesional.

5. METODOLOGÍA

Para la realización del presente trabajo se comienza por la elaboración de un marco teórico en el que se recopila información acerca de la simulación de procesos, así como la realización de una breve comparación entre simuladores, argumentando los motivos por los que se escoge el software Flexsim.

Definida la utilización de este software, se indaga en él aprendiendo la programación necesaria que exige la herramienta. Para ello, se hace uso del TFG [Trabajo Fin de Grado] de Jinghan Wang, antigua alumna del grado de Ingeniería en Organización Industrial de la Escuela de Ingeniería de Bilbao [EIB], *“Manual práctico: Simulación de procesos industriales mediante Flexsim”*, en el que se explica detalladamente como construir tres modelos teóricos diferentes. Por otra parte, debido a la sencillez de los casos planteados en el TFG mencionado, se requiere también de información adicional en materia de programación para poder abordar el caso de SIMAL, con lo que se utiliza también el libro *“Un primer paso a la simulación con Flexsim”* de Isaías Simón Marmolejo. Por lo que, partiendo de dichos manuales de simulación, se procede a realizar una breve descripción técnica de los elementos que forman parte de la simulación del caso de SIMAL.

De esta forma, una vez que se tienen conocimientos de la programación del Flexsim, se realiza una serie de visitas a la empresa SIMAL, para conocer la línea a analizar, así como recopilar la información necesaria de las diferentes máquinas que aparecen en la simulación.

Teniendo la información necesaria (tiempos de producción, tiempos de mantenimiento, máquinas de la línea, etc) se elabora la descripción del caso de estudio, que presenta e introduce dicha información que se va a utilizar para el análisis de la línea. Luego, se construye el modelo de simulación introduciendo los elementos que participan en ella, posteriormente, estableciendo las conexiones entre los diferentes elementos, y finalmente, atribuyendo sus diferentes propiedades.

Tras la construcción del modelo, se obtienen diferentes estadísticas que ayudan a analizar la planta industrial y a proponer mejoras. De este modo, se simulan las diferentes alternativas de mejora, para poder compararlas con la situación actual de la empresa, y poder finalizar con una serie de conclusiones y recomendaciones.

6. MARCO TEÓRICO: LA SIMULACIÓN

6.1 Introducción

La simulación se trata de la representación virtual de un modelo, consiguiendo de esta manera evaluarlo, descubrir el comportamiento del sistema y averiguar cómo interactuar con él. Se entiende como modelo a la descripción de un objeto o sistema que ayuda a entender y mejorarlo, y de este modo, se define sistema como un conjunto de elementos interconectados. [6]

La simulación virtual es una herramienta que se ha ido perfeccionando y desarrollando en los últimos años, y que se puede aplicar en múltiples sectores.

6.1.1 Ámbitos de aplicación

-Ocio y entretenimiento: En este campo es donde más éxito está teniendo la simulación gracias a la industria de los videojuegos, en la que se permite al jugador introducirse en diversas situaciones, ya sea en juegos de guerra, o incluso en múltiples deportes.

-Formación: Gracias a la simulación virtual se consigue una educación más dinámica en la que los jóvenes estudiantes puedan comprender mejor los temas que tratan. Por otra parte, en el ámbito industrial, permite mejorar funciones como formar a nuevos empleados o ensayar labores de mantenimiento, y así, mejorar la productividad, y calidad del producto, o incluso, evitar peligros que pueda haber en plantas industriales

-Medicina: En este ámbito también se presenta como un caso de formación, en el que se permite a los trabajadores de sanidad practicar situaciones críticas como operaciones de cirugía.

6.1.2 Tipos de simulación

-Modelos de simulación de eventos discretos.

Se identifican como sistemas en los que los eventos que cambian el estado del mismo ocurren en instantes espaciados en el tiempo, es decir, las variables de estado cambian solo en un conjunto discreto de puntos en el tiempo. [7]

-Modelos de simulación de eventos continuos.

Se considera sistema continuo cuando sus variables de estado cambian de forma continua en el tiempo. Este es el caso del modelo que se representa en el presente trabajo, al trabajar con una materia prima considerada como un fluido [8]. Esto se debe a que al tratar cantidades tan grandes de arena de sílice y carbonato (materias primas), conviene hacer una equivalencia y analizarlas como fluido.

6.2 Simuladores

6.2.1 Witness

Se trata de uno de los softwares más usados actualmente, tanto para sistemas de procesamiento continuo como discretos. A pesar de poder tratar ambos sistemas,

Witness se centra en la simulación dinámica de procesos industriales, es decir, se especializa en el tipo de simulación en el que existe una acumulación de masa y energía que varía con el tiempo (enfocado para procesos de fluidos). Es por ello que cuenta con numerosos objetos para simular fluidos como: tanques, tuberías, procesadores, etc. [8]

Además, dispone de una buena visualización gráfica, animación integrada, y permite importar archivos de otros programas como CAD.

6.2.2 Arena

Es una herramienta que permite simular procesos de cualquier tipo, al no centrarse solo en un sector de la industria. Destaca por su sencillez de programación y análisis, y es de gran utilidad para visualizar y estudiar cómo se llevan a cabo los procesos, permitiendo representar tanto sistemas discretos como continuos.

Por otra parte, dispone del sistema de animación “*Cinema Animation System*” que favorece la comprensión y visualización del sistema representado. [8]

6.2.3 Flexsim

Software que permite tanto la representación de sistemas de eventos continuos como discretos, permitiendo estudiar varios procesos industriales. Visualmente, destaca su visualización tridimensional que facilita la comprensión de los modelos representados.

Para facilitar el aprendizaje y la utilización de esta herramienta, Flexsim cuenta con un servicio de asistencia y foros, en el que resuelven las dudas generadas en el estudio de esta herramienta de simulación. [8]

Finalmente, destacar que cuenta con un convenio estudiantil con la UPV, ofreciendo una versión de capacidad más reducida que la original² pero suficiente para el presente trabajo, y a un precio asequible para que los estudiantes universitarios puedan formarse e introducirse con este software.

De este modo, se procede a realizar una evaluación de los diferentes softwares para decidir cuál utilizar en el proyecto. Para ello, se ponderan unos criterios estableciendo que cuál tiene mayor relevancia, con el objetivo de que ayuden a realizar la comparación.

6.2.4 Comparación simuladores

CRITERIO	PONDERACIÓN
Precio	3
Tratamiento de sistemas de modelos continuos	2
Accesibilidad a manuales de aprendizaje	1

Tabla 1. Ponderación de los criterios de selección

² Dispone de un límite de objetos a introducir en la simulación de 100.

De esta forma, se elabora una tabla comparativa de los tres softwares atendiendo a los diferentes criterios establecidos. Dentro de cada criterio³, se evalúan los softwares con una puntuación del 1 al 3, otorgando los tres puntos al que mejor se adapte a cada criterio.

SOFTWARE	PRECIO (3)	SIST.CONTINUO (2)	MANUALES (1)	TOTAL
WITNESS	1·3 = 3	3·2 = 6	1·1 = 1	10
ARENA	2·3 = 6	1·2 = 2	2·1 = 2	10
FLEXSIM	3·3 = 9	2·2 = 4	3·1 = 3	16

Tabla 2. Selección del software

Se concluye que el software que mejor se adapta a la realización del presente trabajo es Flexsim.

6.3 Flexsim

6.3.1 Metodología para simular

En este apartado se muestra brevemente una posible guía a seguir para elaborar una simulación con un software como Flexsim. Se tiene que tener en cuenta, que se debe de simplificar el modelo considerando solo los aspectos que afectan al problema de estudio, siendo lo suficientemente detallado para poderse obtener conclusiones que se apliquen al sistema real.

Introducción

Se describe el problema que se plantea y que va ser objeto de estudio, así como la metodología que se va llevar a cabo para la realización de la simulación.

Descripción del caso

Recogidos los datos necesarios, se agrupan y definen ordenadamente. Se explica brevemente como es la línea de producción a analizar, pudiendo apoyarse en un diagrama de flujo, y comentando las máquinas y operarios que tienen lugar en la planta, al igual que datos relacionados con aspectos de la producción como tiempos de producción, labores de mantenimiento o paradas de descanso.

Por otra parte, se asemeja cada ente de la línea a uno de los tipos de objetos que ofrece el software⁴.

³ El valor de ponderación de los criterios se resalta en la tabla en negrita.

⁴ Un ejemplo de equivalencias pueden ser los silos de almacenaje, que como se verá en el apartado 6.3.2 "Descripción técnica", equivalen en el software a un fluid tank.

Creación del modelo

Se procede a elaborar el modelo en el simulador virtual, para ello se sigue una serie de pasos.

-Paso 1: Colocación de los objetos

Ya definida la relación de los elementos que aparecen en la línea con los objetos que reconoce el software, se deben de depositar en el área de simulación tridimensional ⁵.

-Paso 2: Conexión entre los objetos

Se conecta uno a uno los diferentes objetos que tienen lugar en la planta, siguiendo el orden establecido por la línea real.

-Paso 3: Asignación de propiedades

Se atribuye a cada ente de la simulación las propiedades que le correspondan, es decir, los datos que se han facilitado en la descripción del caso.

Ejecución y validación

Se ejecuta el modelo, estableciendo un tiempo de simulación considerable, y de esta manera se observa si los datos obtenidos en la simulación se ajustan a la realidad.

Para hacer la comprobación se puede hacer de múltiples maneras. Por ejemplo, se puede observar una vez finalizada la simulación (estableciendo por lo menos una jornada laboral de producción), si la producción de ese intervalo de tiempo se asemeja a la vida real. También se tiene que tener en cuenta, en intervalos cortos de tiempo, que la simulación vaya siguiendo las órdenes establecidas correctamente. De esta forma, se debe observar que los tiempos de ciclo se asemejen a los de la línea, y que los cambios que se hacen a lo largo del tiempo, como paradas de mantenimiento o descansos, se simulan correctamente.

Informes y estadísticas

Recoger los datos obtenidos y apoyarse en las gráficas facilitadas por el simulador, que facilitan la comprensión de los datos de interés y así poder plantear mejoras en base a los datos

Plantemiento de mejoras

Se simulan las alternativas de mejora que se plantean para obtener beneficios en la línea, como equilibrado de línea, mejoras de productividad, mejoras en gestión de stock o mejoras en tiempos de mantenimiento.

⁵ En el capítulo 7 análisis de la línea de producción, aparecen las figuras 16 y 17 ilustrando la colocación de los elementos en el área de simulación.

Conclusiones

Realizar un análisis de los beneficios conseguidos con las alternativas expuestas comparándolas con la situación original.

6.3.2 Descripción técnica

En este apartado, se muestran los objetos de la herramienta Flexsim que tienen lugar en el análisis de SIMAL, y se describe las propiedades que tienen cada uno de ellos.

OBJETO
Source
Queue
Conveyor
Rack
ItemToFluid
FluidToItem
FluidPipe
FluidTank
FluidMixer
FluidConveyor
FluidProcessor

Tabla 3. Objetos Flexsim a explicar

Source

Son elementos que definen la creación del flujo de materiales que pasa por la línea. A su vez, definen la cantidad y la frecuencia con la que se crean los materiales (materias primas).

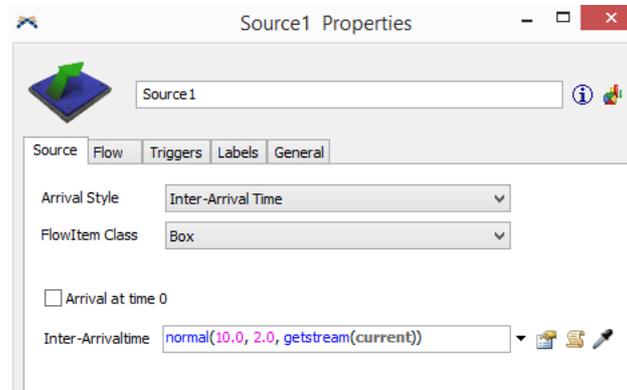


Figura 1. Propiedades source

En cuanto a las propiedades del “source”, como muestra la figura 1 en “Arrival Style”, se define la frecuencia de llegada de los objetos, pudiendo establecerse como:

-Una frecuencia que se repita periódicamente (“Inter-Arrival Time”). En esta opción se puede establecer la frecuencia como un número constante, o como una función estadística (normal, exponencial, etc).

-Un plan de llegada, en el que la llegada de las materias viene a unas horas determinadas (“Arrival Schedule”)

Queue

Representan colas o líneas de espera. En la simulación de eventos discretos son muy adecuados para identificar cuellos de botella, si se sitúan los “queue” antes de las máquinas de producción, ya que representarían los objetos de producción que tiene en cola dicha máquina.

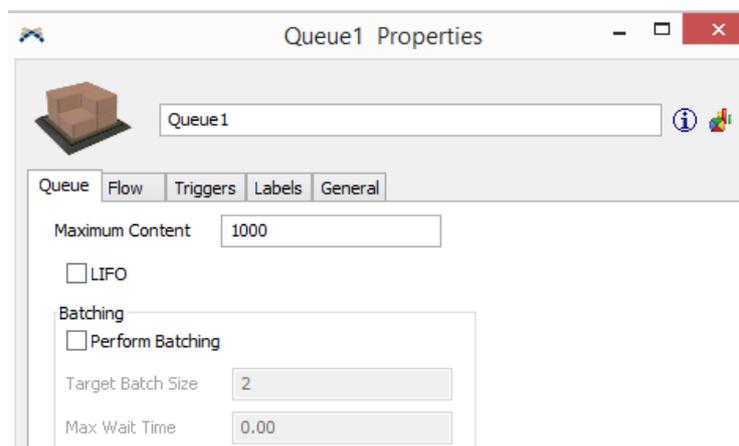


Figura 2. Propiedades queue

En cuanto a sus propiedades, en “*Maximum Content*” se define el contenido máximo que puede aguantar la cola. Si se marca la casilla de LIFO [Last In First Out], se establece que el último objeto en llegar a la cola sea el primero en salir.

Finalmente, si se marca la casilla de “*Perform Batching*” se da la opción de que los objetos salgan de la cola por lotes. De esta forma, en “*Target Batch Size*” se define el tamaño del lote, y en “*Max Wait Time*” el tiempo máximo que se debe esperar si no se ha llegado a alcanzar el tamaño del lote.

Conveyor

Al igual que el “*queue*”, representa una cola o línea de espera, pero enfocado el concepto como una cinta transportadora. La diferencia con el “*queue*” se trata de que los objetos se transportan de un sitio a otro.

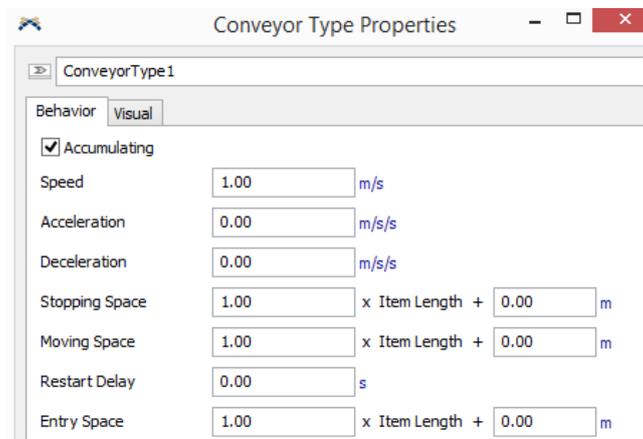


Figura 3. Propiedades conveyor

Para las cintas transportadoras debe definirse la velocidad y la longitud que tienen, y de esta forma se determina el tiempo de espera que van a tener los objetos que pasen por ellas.

- “*Stopping Space*”: Es el espacio mínimo que permite la cinta que haya entre los elementos de la línea que se transportan, parando la cinta en caso de que este sea menor.
- “*Moving Space*”: Si los elementos en el transportador se detienen, es el espacio necesario entre los elementos para poder reanudar la marcha.
- “*Restart Delay*”: Es el tiempo de espera para que la línea retome la marcha cuando se detiene la cinta.
- “*Entry Space*”: Es el espacio que debe esperar un objeto a que esté vacío delante de él para poder entrar a la cinta. [9]

Rack

Se encarga de almacenar los productos terminados.

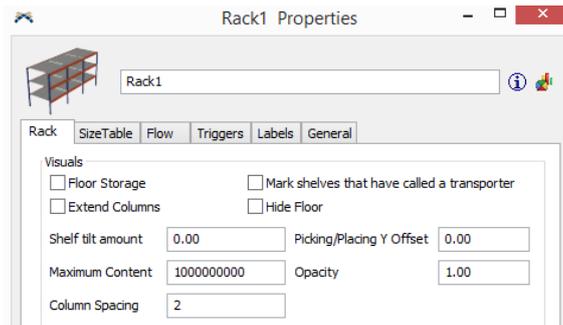


Figura 4. Propiedades rack

El dato de mayor relevancia del rack es el contenido máximo que acepta el almacén en “Maximum Content”.

ItemToFluid

Es un elemento del programa Flexsim, que permite pasar de un modelo de simulación de eventos discretos a eventos continuos. En él se debe definir la proporción con la que se va transformar una cierta cantidad de eventos discretos, en otra cantidad de eventos continuos.

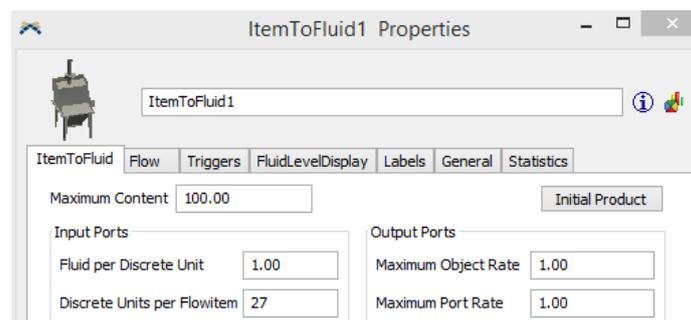


Figura 5. Propiedades item to fluid

Se define el contenido máximo que acepta el dispositivo en “Maximum content”. Por otro lado, para definir las proporciones de transformación, como se ve en la figura 5 en el recuadro de “Input Ports”, se ha establecido que por cada unidad del sistema de eventos continuos se necesiten 27 de eventos discretos.

En el cuadro de “Output Ports” se define el máximo número de objetos que pueden salir a la vez por unidad de tiempo.

FluidToItem

Tiene una función similar al “ItemToFluid”, a diferencia de que este pasa de eventos continuos a eventos discretos.

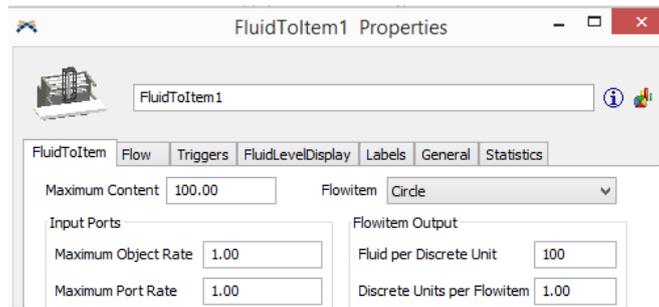


Figura 6. Propiedades fluid to item

La definición de las propiedades es similar al “ItemToFluid”. En la zona de “Input Ports” se establece la velocidad máxima a la que puede entrar el flujo de material al dispositivo. En “Flowitem Output” se define, como indica la imagen, que por cada unidad de eventos continuos salen 100 de eventos discretos.

FluidPipe

Representan a tuberías que conectan a los diferentes elementos de simulación de fluidos.

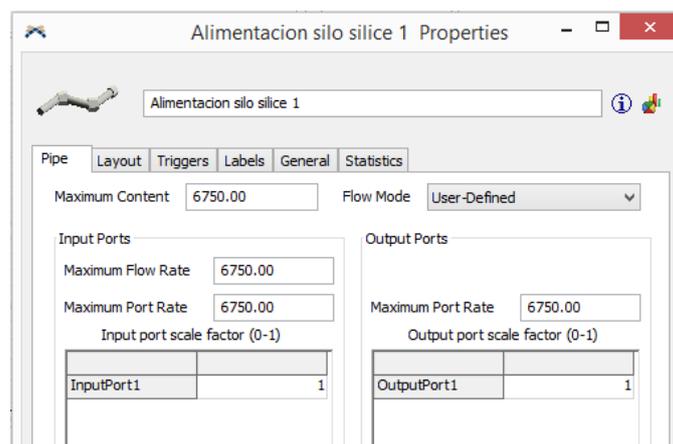


Figura 7. Propiedades fluid pipe

Los parámetros que se deben fijar son el contenido máximo, y las velocidades de entrada y salida definidas en “Input Ports” y “Output Ports”.

FluidTank

Equivalen a depósitos de almacenamiento como silos.

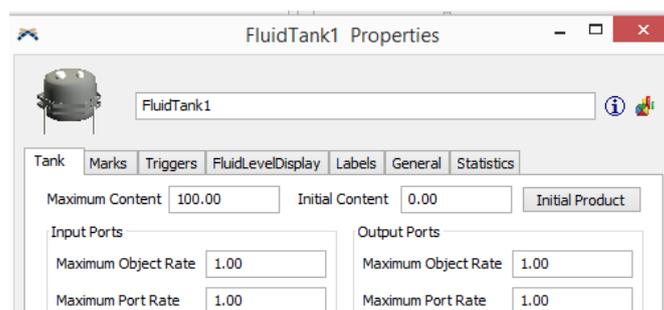


Figura 8. Propiedades fluid tank 1

Al igual que en la mayoría de elementos, se establecen las mismas propiedades como el contenido máximo que soporta el tanque y la velocidad de entrada y salida. También se puede definir si en el momento de comenzar la simulación el depósito tiene un contenido inicial, en “Initial Content” (figura 8).

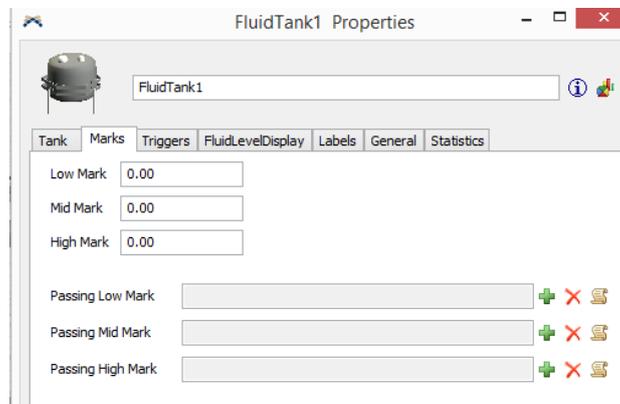


Figura 9. Propiedades fluid tank 2

Por otro lado, se puede establecer unas marcas inferiores, medias y superiores. Para cada una de las marcas establecidas se pueden definir instrucciones a seguir por el tanque cuando el contenido de material en su interior pasa por alguna de las marcas. Las instrucciones que se pueden definir son:

- Cierre de entrada de materiales y apertura de salida de materiales.
- Cierre de entradas y salidas de materiales.
- Apertura de entrada y cierre de salida de materiales.
- Apertura de entrada y salida de materiales.

FluidMixer

Se trata de un dispositivo que como su nombre indica, tiene la función de recoger diferentes materiales y mezclarlos entre ellos, generando un único producto saliente.

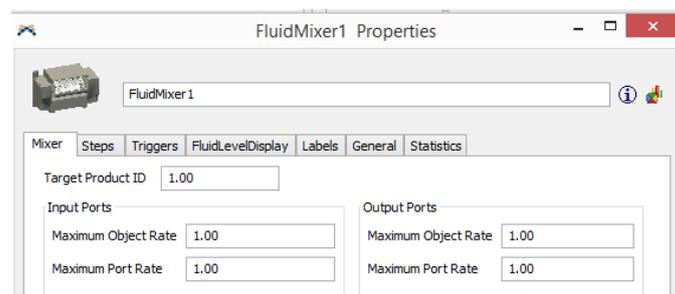


Figura 10. Propiedades fluid mixer 1

Como en los elementos ya definidos anteriormente, se establece la velocidad de entrada y salida del elemento.

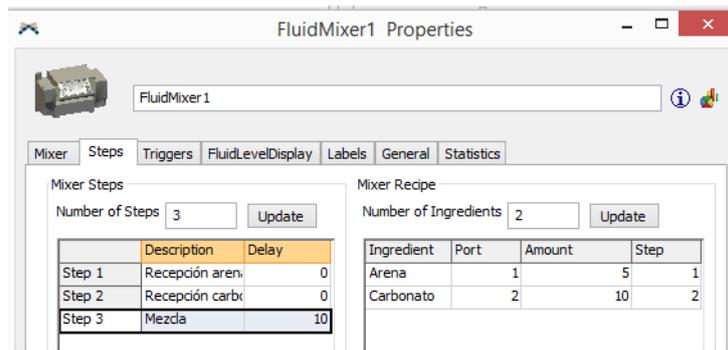


Figura 11. Propiedades fluid mixer 2

En la figura 11 se refleja el número de pasos que sigue el dispositivo, y el número de ingredientes que recoge.

En la imagen se muestra un ejemplo en el que se definen tres pasos:

- Recepción de arena.
- Recepción de carbonato.
- Realización de la mezcla. En este paso se ha establecido un tiempo de ejecución de 10 unidades de tiempo.

Por otro lado, para los ingredientes hay que definir de que puerto de entrada proviene cada uno, cuanta cantidad (“Amount”) y a que paso corresponde cada ingrediente.

FluidConveyor

Equivale a los “conveyors” comentados de eventos discretos, pero perteneciendo al grupo de eventos continuos.

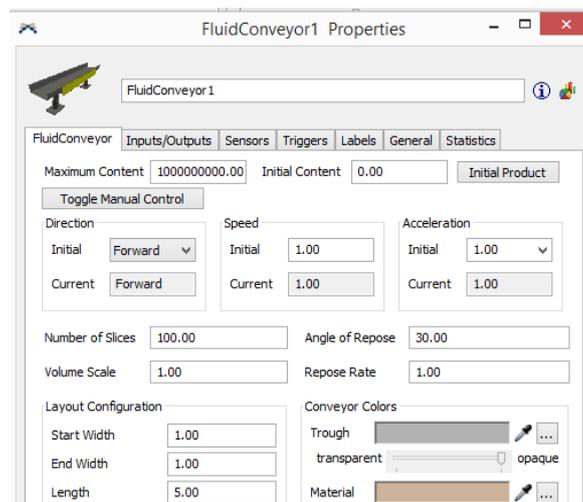


Figura 12. Propiedades fluid conveyor

Para los parámetros se tiene que definir la longitud en “Length”, el contenido máximo que admite, la cantidad inicial que tiene al comenzar la simulación y la velocidad que tiene. Al definir la velocidad y la longitud viene establecido el tiempo que tarda en atravesar la cinta transportadora.

FluidProcessor

Es un lugar de operación en el que se somete a los objetos de la línea a algún tipo de tratamiento.

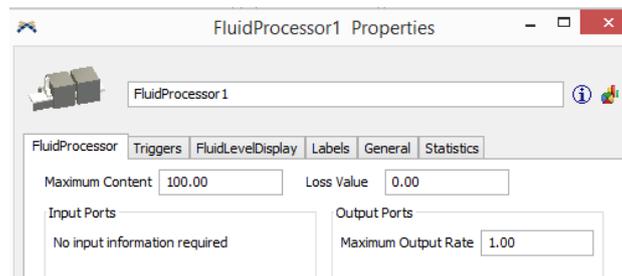


Figura 13. Propiedades fluid processor

Al igual que los otros dispositivos se establece el contenido máximo y la velocidad de salida. Un aspecto nuevo que introduce este elemento, es “*Loss Value*”, en el que se establece un porcentaje de material que se pierde debido al tratamiento de la operación que se realiza.

7. ANÁLISIS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

7.1 Introducción

A continuación, se introduce el caso de estudio de la empresa SIMAL, dedicada a la generación de silicato, enfocado a la planta de generación de silicato sólido.

Por medio de una recogida de datos, se describe el caso de estudio, seguido de un posterior análisis de cuellos de botella de la línea de SIMAL. Finalmente, se proponen algunas alternativas de mejora midiendo los efectos que pueden tener en la realidad, por medio de su representación virtual en el software Flexsim.

Problema presentado por SIMAL

Alguno de los silos con los que cuenta la planta, concretamente, los silos de mezcla que se detallan más adelante en el estudio, presentan inconvenientes al almacenar la mezcla, al poseer esta una capacidad de adherirse a las paredes elevada. Esto provoca que no toda la mezcla atraviese el silo de almacenamiento, y acabe quedándose pegada a las paredes laterales del silo. Es por ello, que SIMAL realiza labores de mantenimiento para desatascar la mezcla adherida cada cierto tiempo.

De esta forma, se procede a identificar el cuello de botella de la línea de SIMAL, así como presentar alguna solución para hacer frente al problema de mantenimiento presentado.

7.2 Descripción del caso de estudio

SIMAL se dedica a la generación de silicato, y para ello, en su planta cuenta con dos hornos (denominados “horno 3” y “horno4”) que calientan de continuo las 24 horas del día, y que consiguen producir alrededor de 1.600 composiciones, lo que equivale a 195.000 kg de silicato.

Para la fabricación de silicato, llegan 6 camiones diarios de arena de sílice y 3 de carbonato, transportando cada camión 27 toneladas. De este modo, se reciben 162.000 kg de arena de sílice y 81.000 kg de carbonato.

La materia prima que llega se almacena en sus correspondientes silos de almacenamiento, de los cuales SIMAL dispone de 4 silos de arena de sílice y otros dos para el carbonato. Cada uno de los silos cuenta con una capacidad de 200 toneladas.

Antes de que la arena y el carbonato entren a los hornos, deben de mezclarse con una relación arena/carbonato aproximada a 2:1, y para ello, se dispone de unas básculas de pesaje (una báscula para cada materia prima) que tienen como fin recoger 98 kg de sílice y 48,4 kg de carbonato, que los transmiten a una mezcladora cada 44 segundos. Por lo que, gracias a la mezcladora y a una serie de roscas de mezclas (5 roscas), se consigue que la mezcla sea la adecuada para alimentar a los hornos. Dicha mezcla,

antes de ser transmitida a los hornos, se deposita en unos silos denominados “silos de mezcla”, habiendo uno para cada horno.

Cabe destacar, que la rosca cuatro alimenta de manera intermitente a dos elementos diferentes de la línea. Como se aprecia en la figura 14, que corresponde al diagrama de flujo de la línea a estudiar, la rosca 4 turna su alimentación cada cierto tiempo, entre la rosca 5 y el silo de mezcla correspondiente al horno 3. De este modo, tras alimentar el tiempo que se desea al silo de mezcla, se realiza una parada de 150 segundos en las básculas de pesaje, y se cambia la dirección de alimentación, transmitiendo la mezcla a la rosca 5. Del mismo modo, tras haber alimentado el tiempo que se desea a la rosca 5, se vuelve a realizar una parada de 150 segundos, y se procede a conducir la mezcla al silo de mezcla nuevamente. Cada vez que se cambia la dirección de la alimentación se realiza una parada de 150 segundos en las básculas de pesaje, para que la mezcladora y las roscas se vacíen expulsando el material que tengan, y así, cuando se reinicie la marcha, estos elementos de la línea trabajen mejor evitando esfuerzos excesivos en estos elementos.

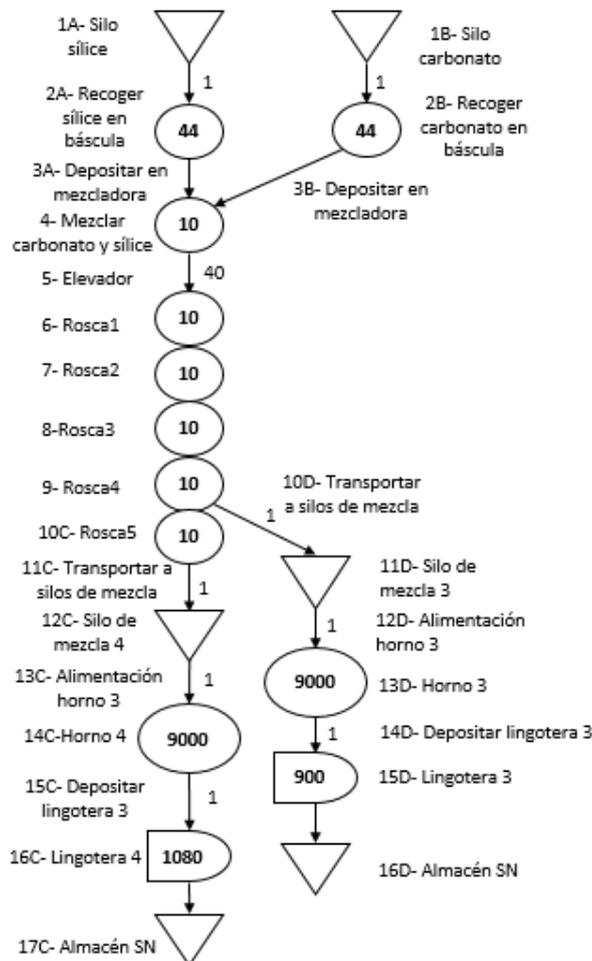


Figura 14. Diagrama de flujo de SIMAL, planta de silicato sólido

Tras el calentamiento que tiene lugar en los hornos, cada horno deposita las mezclas en unas lingoteras, que tienen como función secar las composiciones a temperatura

ambiente. Finalmente, tras su correspondiente secado, se almacena el producto en el almacén.

A continuación, se muestran una serie de tablas que recogen la descripción de los diferentes procesos que hay en la línea, parámetros productivos, y especificación del tipo de objeto que son en la simulación a realizar.

PROCESO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS PRODUCTIVOS	OBJETOS
Generación sílice	Arena de sílice	-6 camiones diarios -27 T/camión	<i>Source</i>
Recepción sílice	Stock después de la llegada de la arena de sílice	-1 stock -Almacena 4 montones de 6.750 kg por cada camión	<i>Queue</i>
Distribuir sílice	Elemento necesario de Flexsim para simular fluidos	-1 Distribuidor -Distribuye 6.750 kg a cada silo con la llegada de cada camión	<i>ItemToFluid</i>
Alimentación silos de sílice	Transporte de materia prima recibida a los silos de almacenamiento	-4 alimentadores, uno por silo -Transportan 6.750 kg de sílice con la llegada de cada camión	<i>FluidPipe</i>
Silo sílice	Almacenamiento de la materia prima	-4 Silos -200 T/silo -Cantidad inicial: 100.000 kg	<i>FluidTank</i>
Conexión báscula sílice	Elemento de transporte que conduce la cantidad necesaria a la báscula de sílice	-4 conexiones a la báscula -Cada uno transporta 24,5 kg a la báscula por pesaje	<i>FluidPipe</i>
Báscula sílice	Pesaje de una cantidad preestablecida de sílice, que se mezclará con carbonato tras su paso por la báscula.	-1 báscula de sílice -98 kg por pesaje -Tiempo/pesaje sílice: 44s	<i>FluidMixer</i>

Tabla 4. Descripción de tareas, arena de sílice

Análogamente, la parte de la línea correspondiente al carbonato, presenta los mismos procesos, pero modificando algunos parámetros.

PROCESO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS PRODUCTIVOS	OBJETOS
Generación carbonato	Materia prima: carbonato	-3 camiones diarios -27 T/camión	Source
Recepción carbonato	Stock después de la llegada del carbonato	-1 stock -Almacena 1 montón de 27.000 kg por cada camión	Queue
Distribuir carbonato	Elemento necesario de Flexsim para simular fluidos	-1 Distribuidor -Distribuye 13500 kg a cada silo con la llegada de un camión	ItemToFlud
Alimentación silos de carbonato	Transporte de materia prima recibida a los silos de almacenamiento	-2 alimentadores, uno por silo -Transportan 13500 kg cada uno con la llegada de cada camión	FluidPipe
Silo carbonato	Almacenamiento de la materia prima	-2 Silos -200 T/silo -Cantidad inicial: 100.000 kg	FluidTank
Conexión báscula carbonato	Elemento de transporte que conduce la cantidad necesaria a la báscula de carbonato	-2 conexiones a la báscula -Cada uno transporta 24,2 kg a la báscula por pesaje	FluidPipe
Báscula carbonato	Pesaje de una cantidad preestablecida de carbonato, que se mezclará con sílice tras su paso por la báscula.	-1 báscula de carbonato -48,4 kg por pesaje -Tiempo/pesaje sílice: 44s	FluidMixer

Tabla 5. Descripción de tareas, carbonato

PROCESO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS PRODUCTIVOS	OBJETO
Mezcladora	Mezclan la arena de sílice y el carbonato, con las cantidades previamente establecidas en las básculas	-1 Mezcladora -Tiempo proceso: 10s	FluidMixer
Elevador	Transporta la mezcla desde la mezcladora hasta las roscas	-1 Elevador -Tiempo proceso: 40s	FluidConveyor
Roscas de mezcla	Continúan con la función de mezclar las materias primas, y transportan la mezcla hacia los silos de mezcla. La rosca 4 alimenta un tiempo al silo de mezcla 3, y tras una parada de 150 segundos, alimenta al silo de mezcla 4.	-5 roscas de mezcla -Tiempo proceso cada rosca: 10 s -Cantidad a mezclar por proceso: 146,8 kg de mezcla -Tiempo medio que se alimenta sin interrupciones al silo de mezcla 3: 20 minutos -Tiempo medio que se alimenta sin interrupciones al horno 4: 30 minutos	FluidMixer
Conexión roscas-silo de mezcla	Elemento que transporta la mezcla procedente de las roscas a los silos de mezcla	-Dos conexiones, una por cada silo de mezcla	FluidPipe
Silo de mezcla	Silos que almacenan las mezclas, y que alimentan a los hornos de la línea. Aseguran que el horno trabaje de continuo.	-Un silo de mezcla por horno (dos silos) -Contenido máximo: 25 T de mezcla -Contenido inicial: 2.500 kg	FluidTank

Alimentación horno	Elemento que comunica los silos de mezcla con los hornos	-Una alimentación por horno (dos alimentaciones en la línea)	FluidPipe
Horno	Calentamiento de la mezcla alrededor de 1.500°C	-Dos hornos denominados, horno 3 y 4 <u>Horno 3</u> -Alimentación: 1,12 kg/s <u>Horno 4</u> -Alimentación: 1,66 kg/s -Ambos hornos tienen unas pérdidas de materia del 17% debido a la combustión	FluidProcessor
Composiciones	Elemento necesario para simular fluidos en Flexsim. Representa la relación de la cantidad, en kg, que es una composición realizada.	-Una composición equivalen a 121,6 kg	FluidToltem
Lingotera	Cinta en la que se hace enfriar el producto saliente del horno	-2 Lingoteras -Tiempo proceso lingotera 3: 15 min -Tiempo proceso lingotera 4: 18 min	Conveyor
Almacén	Almacenamiento del producto final	SIMAL almacena alrededor de 1.600 composiciones diarias	Rack

Tabla 6. Descripción de tareas posterior a básculas de pesaje

7.3 Creación del modelo

Para poder realizar la representación virtual del modelo en Flexsim, en primer lugar, se debe establecer las unidades físicas con las que se va a trabajar. Al tratarse de un

sistema en el que se trabaja en función de kilogramos y segundos, se simulará la línea como un modelo de “fluidos”. En Flexsim, un fluido es cualquier material que no es fácil o eficazmente modelado como un Flowitem discreto, y que generalmente se mide por peso o volumen. [10]

De este modo, como refleja la figura 15, se establece el segundo como unidad de tiempo, y el kilogramo como unidad de fluido. A su vez, se debe establecer la hora a la que se comienza a representar la simulación. Este dato no influye en la representación, ya que SIMAL trabaja de continuo las 24 horas del día, y para el modelo se va a simular un día completo de trabajo, por lo que se establece como hora de inicio la que viene predeterminada por el simulador.

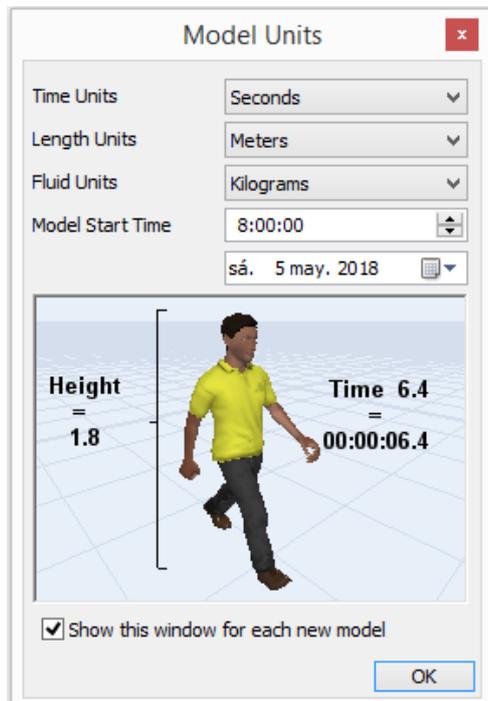


Figura 15. Model units

7.3.1 Paso 1: Añadir objetos

Una vez definidas las unidades con las que se va a trabajar, se introducen los objetos que participan en la línea de producción, reflejados en las tablas 4, 5 y 6 del apartado “descripción del caso de estudio”. Para la representación de la línea se necesitan:

OBJETO	CANTIDAD
Source	2
Queue	2
Conveyor	2
ItemToFluid	2
FluidToItem	2
FluidPipe	16
FluidTank	8
FluidMixer	8
FluidConveyor	1
FluidProcessor	2
Rack	1

Tabla 7. Objetos Flexsim de la línea SIMAL

A continuación, se muestran unas imágenes con la colocación de los objetos mencionados, y situados en el orden que la línea real tiene. Debido a la extensión de la línea, para poder apreciar mejor cada objeto, se muestra la línea seccionada en dos partes, acotadas por los objetos de las tablas 4 y 5 en la figura 16, y la tabla 6 en la figura 17.

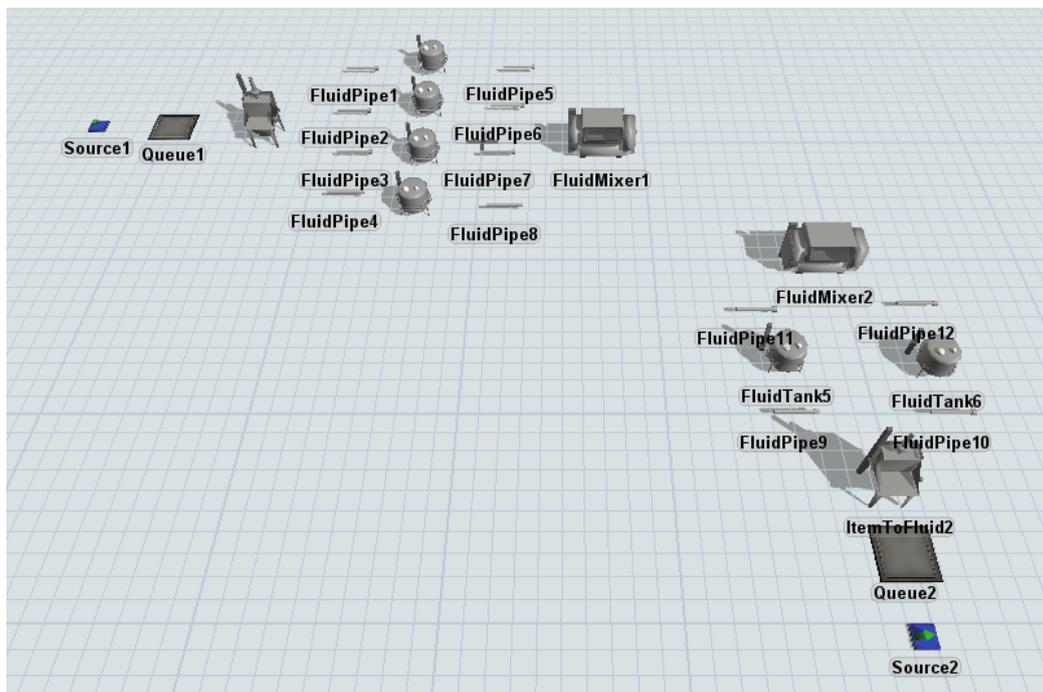


Figura 16. Zona de simulación de las tablas 4 y 5

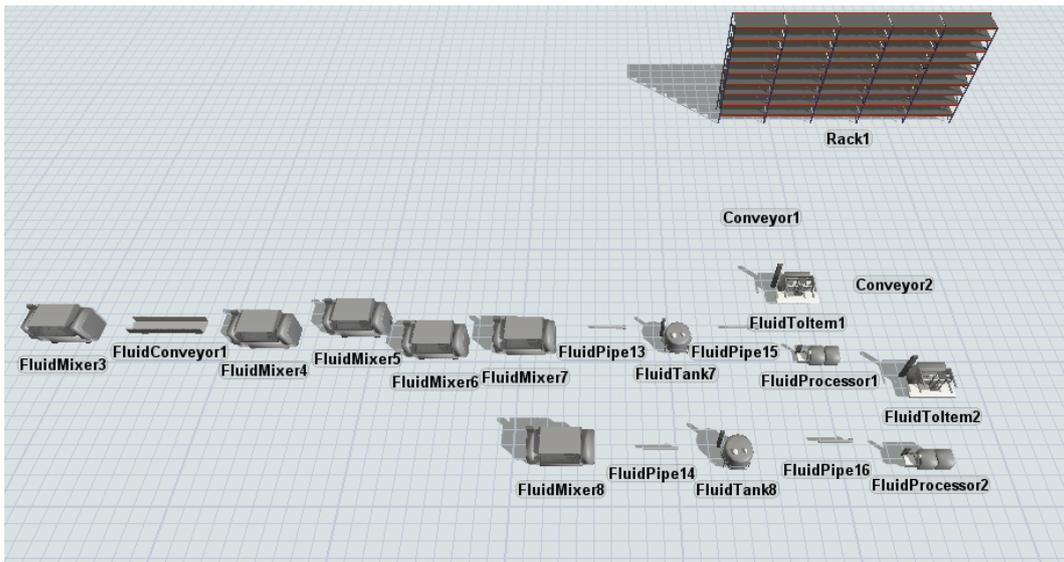


Figura 17. Zona de simulación de la tabla 6

7.3.2 Paso 2: Conexión de puertos

De este modo, se procede a unir las entradas y salidas de los diferentes objetos respetando el orden que tiene la línea de SIMAL. A su vez, se nombra a cada objeto como se establecen en las tablas 4, 5 y 6 ⁶.

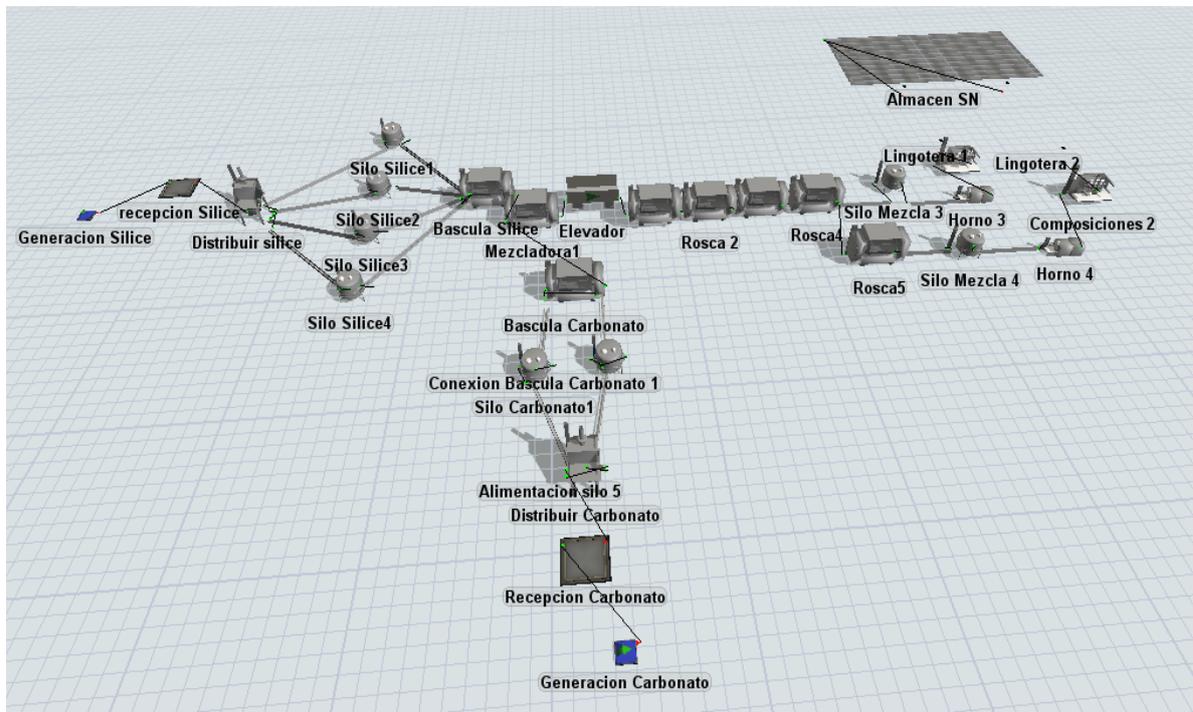


Figura 18. Conexiones de la línea SIMAL

⁶ En la figura 18 no se aprecia el nombre de todos los elementos representados debido a la cercanía que tienen los elementos y a que el programa no dispone de espacio suficiente para colocar todos los nombres.

7.3.3 Paso 3: Definir las propiedades de los objetos

Tras haber posicionado correctamente la línea de producción, se establecen las propiedades de cada uno de los objetos que intervienen en la generación de sílice, ya reflejadas en las tablas 4, 5 y 6.

Elementos clasificados en la tabla 4

Generación de sílice- Source

Como la simulación es de un día, y a SIMAL llegan 6 camiones diarios de arena de sílice, se programa la entrada de cada camión cada 4 horas. De este modo, se establece que el “Arrival Style” (estilo de llegada) sea un “Arrival Schedule” (plan de llegada), en el que se programa la llegada de los camiones, como se ve en la figura 19, en “Arrival Time” cada 14.400 segundos (4 horas).

En el apartado “Quantity” (cantidad), se establece que con la aparición de cada camión se reciba 1 paquete. Cada paquete representa las 27 toneladas que deposita un camión en la recepción de sílice.

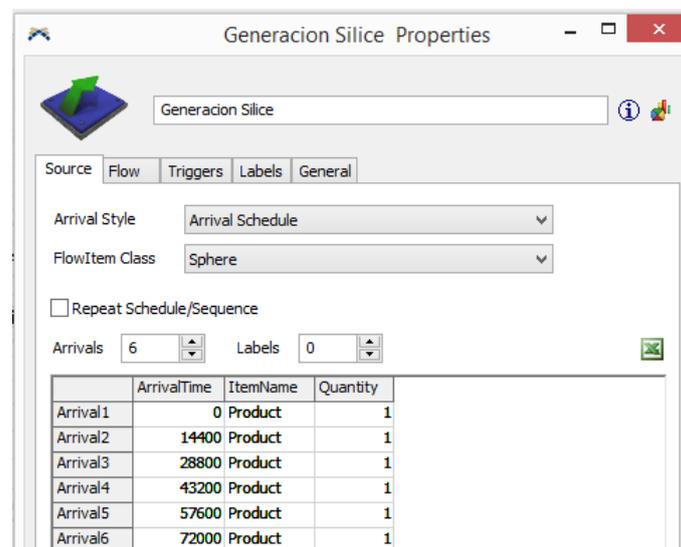


Figura 19. Propiedades generación de sílice

En cuanto al “FlowItem Class”, se refiere a la forma visual que tiene el paquete que aparece cada 4 horas, y ésta se define como “Sphere” (esfera) al tener la arena esa forma. Teniendo en cuenta también el color de la arena de sílice, se define el color del paquete que depositan los camiones como marrón. Para ello, como refleja la figura 20, se accede a “Triggers”, y en la casilla “On Exit” se selecciona “Visual”, “Set Object Color”.

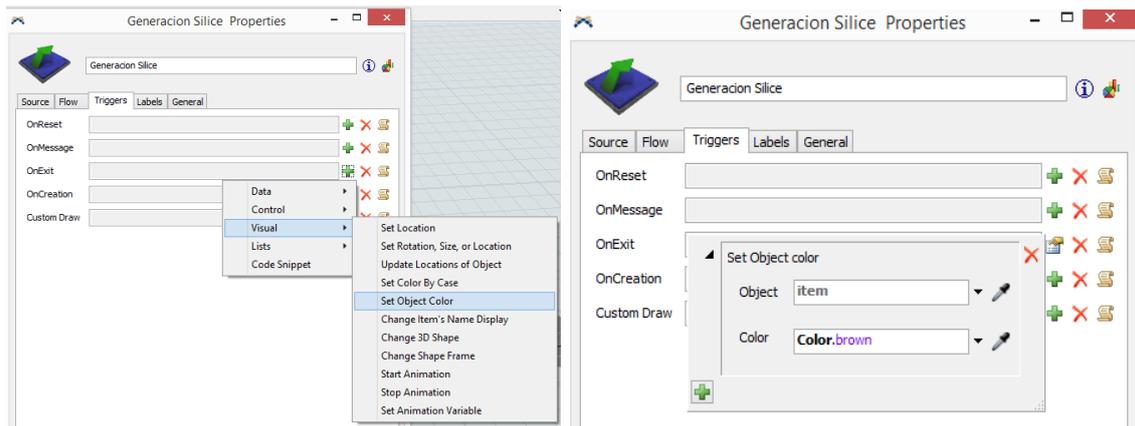


Figura 20. Propiedades generación de sílice, selección de color

Recepción sílice- Queue

Como propiedades de este elemento, tan solo se establece el contenido máximo, que es de un paquete.

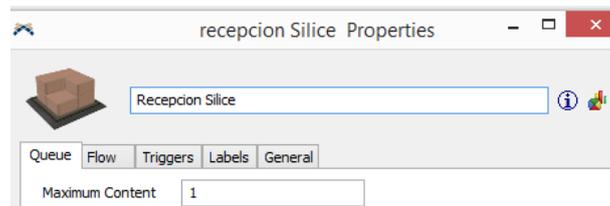


Figura 21. Propiedades recepción de sílice

Distribuir sílice- ItemToFluid

En este elemento, en la sección de "Input Ports", se define que por cada paquete ("Fluid per Discrete Unit"), hay 27.000 kg de arena de sílice ("Discrete Units per Flowitem"). Además, se reparte el caudal de arena en partes iguales por los cuatro tubos de alimentación que le suceden, por ello, en "Output port scale factor" se establece que el porcentaje de salida a los cuatro tubos, sea del 25 por ciento cada uno. De esta forma, transmite la materia prima a los tubos de alimentación, a razón de 27.000 kg/s, como se indica "Output Ports".

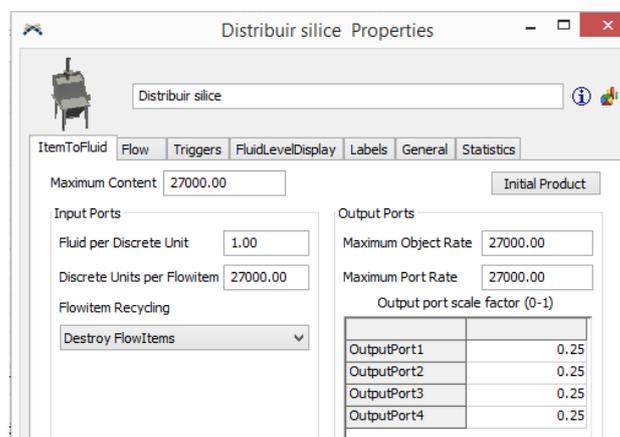


Figura 22. Propiedades distribuir sílice

Alimentación silo sílice- FluidPipe

Como se ha especificado en “*Distribuir Sílice*”, por cada uno de los tubos de alimentación del silo de sílice, pasa una cuarta parte de los 27.000 kg. Por lo que, se define como caudal de los tubos de alimentación, 6.750 kg/s. Por otro lado, se establece el contenido máximo como el caudal que pasa por los tubos de alimentación. Esto hará que al comienzo de la simulación, la “*alimentación silo sílice*”, tarde un segundo en empezar a mandar material a los silos, ya que para poder transmitir arena, debe llenarse del todo.

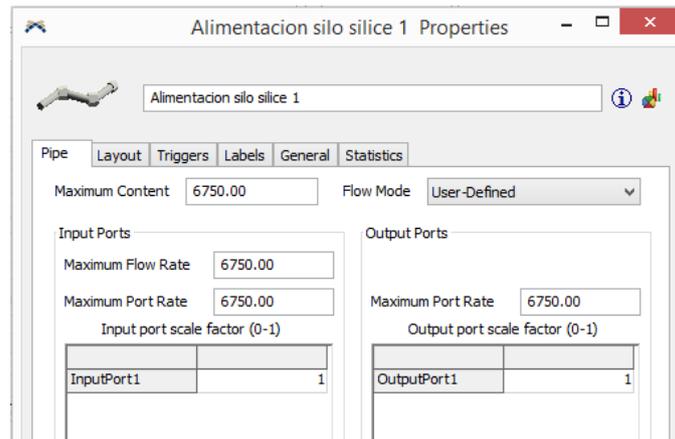


Figura 23. Propiedades alimentación silo de sílice

Silo sílice- FluidTank

SIMAL cuenta con cuatro silos de arena de sílice con una capacidad por silo de 200 toneladas, por lo que en “*Maximum Content*” (contenido máximo) se establece dicha capacidad.

En cuanto a los caudales de entrada y salida, ya se conoce el de entrada al venir marcado por los tubos “*Alimentación silo sílice*”, siendo de 6.750 kg/s. El caudal de salida viene fijado por la báscula de sílice que realiza un pesaje de 98 kg cada 44 segundos, alimentándose a razón de 2,23 kg/s, reflejándose en “*Output Ports*”.

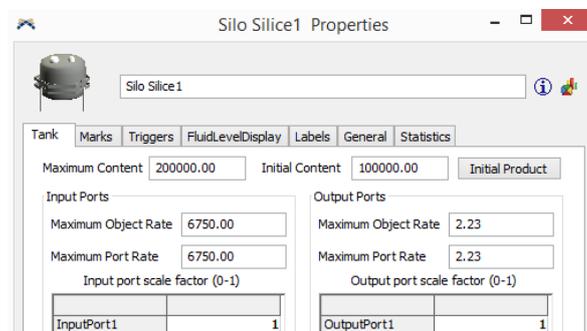


Figura 24. Propiedades silo de sílice

Otro aspecto que se tiene en cuenta, es que a pesar de que en la realidad, SIMAL alimente a la báscula de sílice utilizando un único silo durante un periodo largo, para

facilitar la simulación, se alimenta a la báscula desde los 4 silos a la vez. Esto no influye en las estadísticas, ya que, de ambas formas se utiliza cada silo un 25%.

Para que la báscula de sílice que sucede a los silos arranque desde el comienzo de la simulación, se fija un contenido inicial (*“Initial Content”*) de 100 toneladas.

Conexión báscula sílice- FluidPipe

Esta conexión representa el transporte de la materia prima desde los silos hasta la báscula de sílice. Como se comenta en las propiedades de los silos de sílice, se fija un caudal de transmisión de la arena en 2,23 kg/s. Por lo que, tanto en *“Input Ports”*, *“Output Ports”* y *“Maximum Content”* se introduce dicho valor.

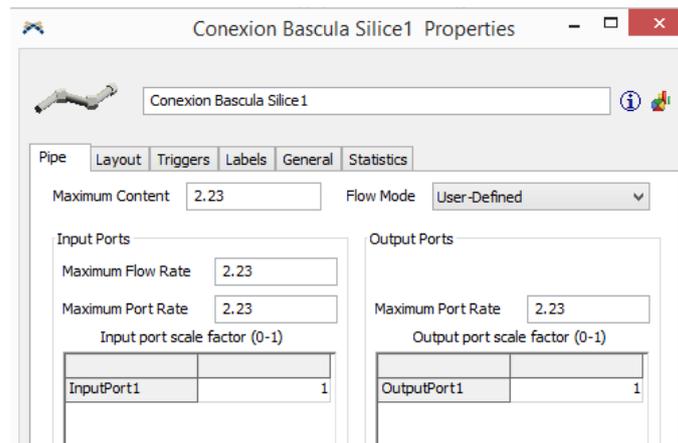


Figura 25. Propiedades conexión báscula de sílice

Al igual que en los tubos de *“alimentación silo sílice”*, los FluidPipe en Flexsim no transmiten material hasta que se llenan, por lo que al comienzo de la simulación, *“conexión báscula sílice 1”* tardará un segundo en comenzar a transportar la arena de sílice al silo de báscula, al ser la tubería que primero alimenta la báscula, como se observa a continuación en las propiedades de *“báscula sílice”*.

Báscula sílice- FluidMixer

Como ya se ha definido en elementos antecesores a la báscula de sílice, el caudal de entrada viene definido por la cantidad que pesa la báscula cada 44 segundos, estableciéndose en 2,23, como ya se refleja en la figura 26, en la sección de *“Input Ports”*. De este modo, al comentar que este elemento libera 98 kg cada 44 segundos, en *“Output Ports”*, se fija el caudal de salida en 98 kg/s al expulsar la báscula de pesaje los 98 kg a la vez.

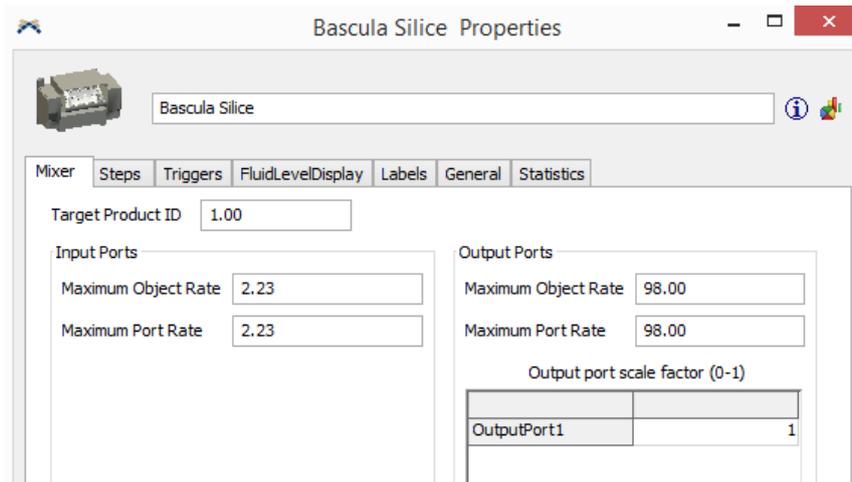


Figura 26. Propiedades báscula de sílice, caudales

Además de los caudales, también se debe establecer los pasos que sigue el dispositivo, y las cantidades provenientes de cada silo que participan en el pesaje. Como se ha comentado en las propiedades de los silos de sílice, la báscula se alimenta de cada uno de los silos, por lo que se definen cuatro pasos para este objeto de la línea. Cada uno de estos pasos, representa la recepción de arena de cada uno de ellos. De este modo, en la sección “Mixer Steps”, se define un “Number of Steps” (número de pasos) de 4, asignando a cada paso “recepción silo”, seguido del número correspondiente al silo que alimenta la báscula.

Como se recibe arena de cada uno de los silos, se establece que la báscula recibe cuatro ingredientes diferentes, siendo cada ingrediente la arena que recibe de cada uno de los silos. Se debe definir cuanta cantidad llega de cada uno de los ingredientes, por lo que recibiendo a partes iguales los 98 kg, se reciben 24,5 kg de cada uno de ellos.

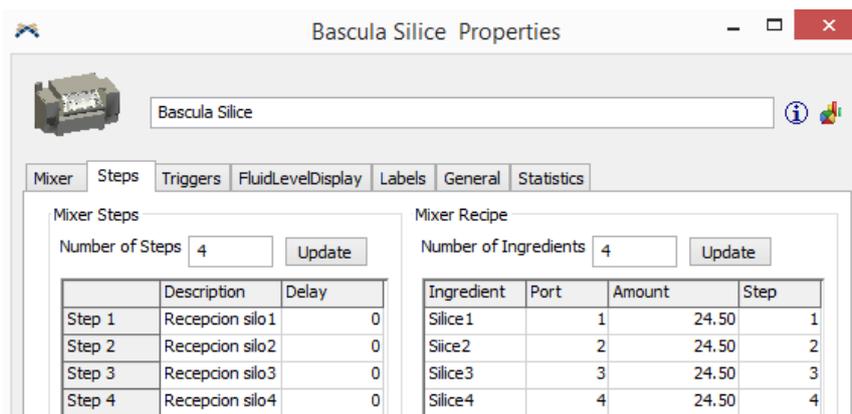


Figura 27. Propiedades báscula de sílice, etapas e ingredientes

Elementos clasificados en la tabla 5

Generación carbonato- Source

Al día entran a SIMAL tres camiones de carbonato diarios, por lo que se programa la llegada de cada uno de ellos cada 28.800 segundos (8 horas).

Al igual que en la generación de sílice, cada paquete recibido en esos 28.800 segundos, representa la cantidad de material que trae el camión, equivalente a 27.000 kg de carbonato.

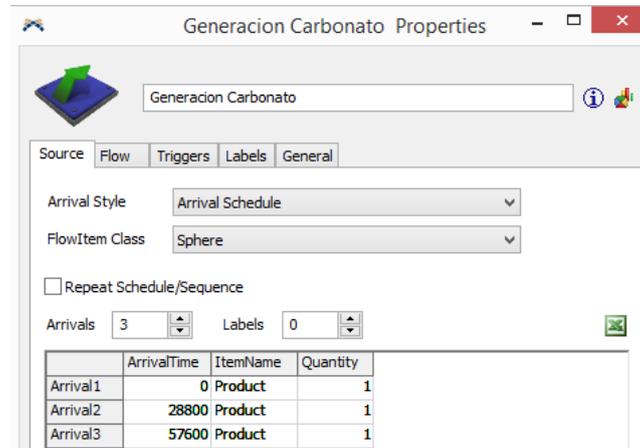


Figura 28. Propiedades generación de carbonato

En cuanto al color que se atribuye al material en la simulación, para distinguirlo de la arena de sílice, se establece como color blanco. Para aplicar el color en las propiedades del carbonato, se hace de la misma forma que se ha visto en “generación de sílice”.

Recepción carbonato- Queue

Se programan las propiedades de “recepción carbonato” de la misma forma que “recepción sílice”.

Distribuir carbonato- ItemToFluid

Al igual que “distribuir sílice”, se fija que cada paquete recibido por lo camiones equivalgan a 27.000 kg, en “Input Ports”. La diferencia que tiene con el otro distribuidor ya comentado, es que en este se reparte el material por dos puertos de salida, en vez de cuatro. Es por ello, que en “Output Port Scale”, se establece una relación de salida del 50% por cada puerto.

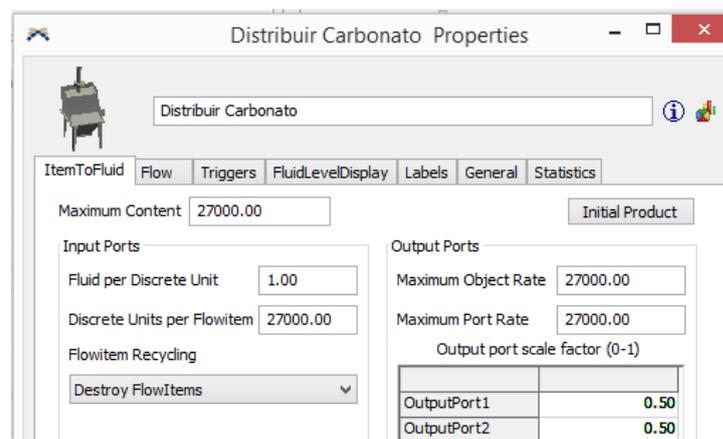


Figura 29. Propiedades distribuir carbonato

Alimentación silo carbonato- FluidPipe

Por los 2 tubos que alimentan a los silos de carbonato, se dividen los 27.000 kg que reciben por camión en partes iguales, por lo que atraviesa un caudal de 13.500 kg/s por cada uno de ellos.

Del mismo modo, como se explica en “*alimentación silo sílice*”, se fija un contenido máximo con la misma cantidad que el caudal que lo atraviesa, para que sólo tarde un segundo en empezar a alimentar a los silos de carbonato en la simulación.

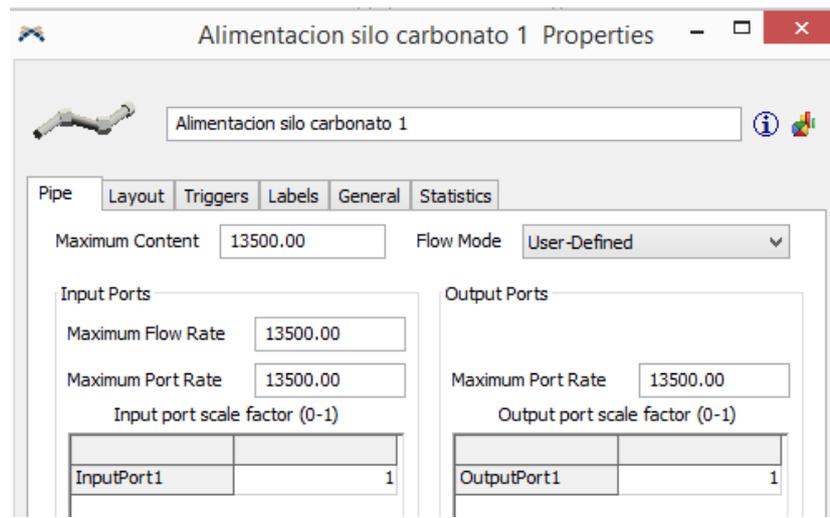


Figura 30. Propiedades alimentación silo de carbonato

Silo carbonato- FluidTank

Se disponen de dos silos de carbonato con una capacidad de 200 toneladas cada uno. Como contenido inicial, al igual que los silos de arena, se establece 100 toneladas en cada silo, para que la báscula de carbonato pueda comenzar a realizar los pesajes al iniciar la simulación.

El caudal de entrada viene determinado por los tubos de alimentación comentados, fijando el caudal en 13.500 kg/s. El de salida viene fijado por el pesaje de carbonato que se hace en la báscula de carbonato, realizando un pesaje de 48,4 kg cada 44 segundos. De esta forma, como indica la figura 31 en “*Output Ports*”, se dispone de un caudal de salida de 1,1 kg/s.

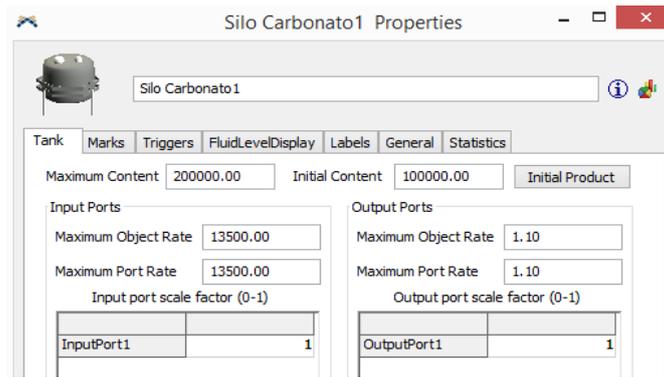


Figura 31. Propiedades silo de carbonato

Conexión báscula carbonato- FluidPipe

Se trata de los tubos que conectan los silos de carbonato con la báscula de carbonato. Como se recarga a la báscula de carbonato con una cantidad de 48,4 kg cada 44 segundos, se fija un caudal en estos tubos de 1,1 kg/s, como se aprecia en la figura 32.

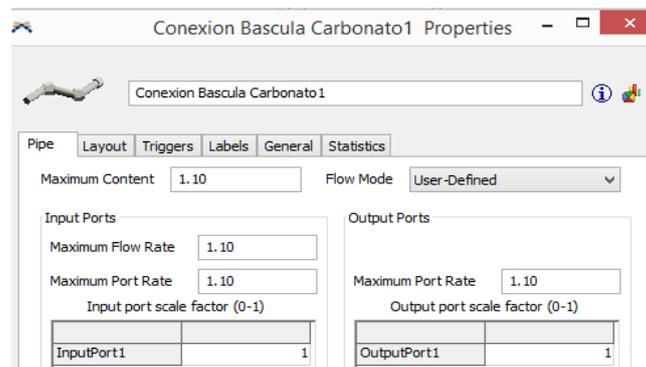


Figura 32. Propiedades conexión báscula de carbonato

Báscula carbonato- FluidMixer

Como se ha comentado en “conexión báscula carbonato”, se hace un pesaje de 48,4 kg cada 44 segundos, por lo que se establecen los “Input y Output Ports” en función de este dato. La entrada viene determinada por la conexión anterior, siendo el caudal de 1,1 kg/s. Se tiene una velocidad de salida de 48,4 kg/s, ya que se expulsan a la vez los 48,4 kg una vez que se ha realizado el pesaje.

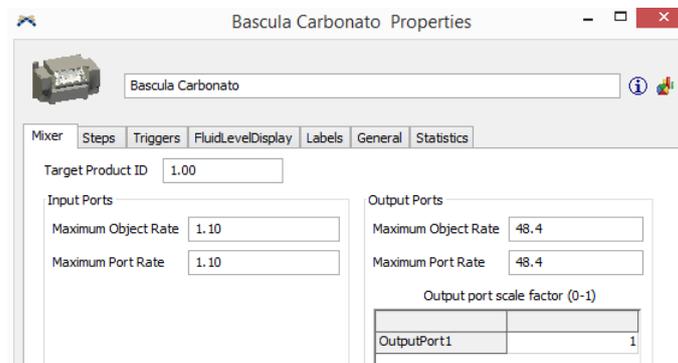


Figura 33. Propiedades báscula de carbonato, caudales

En cuanto a la operatividad de este dispositivo, se establecen dos pasos. Cada uno de ellos representa la recepción de material proveniente de cada silo. De esta forma, la primera tarea denominada “recepción silo 1” corresponde a la recarga de la báscula, teniendo abierto tan solo el puerto que conecta con el primer tubo de “conexión báscula carbonato”. El segundo paso corresponde a la recepción de material del otro puerto de entrada, el segundo tubo proveniente de silo de carbonato.

De esta forma, se define que entran dos ingredientes (aunque sean el mismo material), a cantidades iguales.

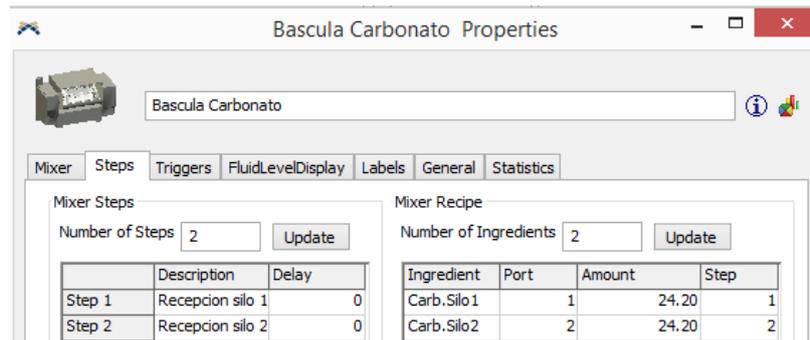


Figura 34. Propiedades báscula de carbonato, etapas e ingredientes

Elementos clasificados en la tabla 6

Mezcladora- FluidMixer

Este elemento, recibe material de las básculas de sílice y carbonato. Es por ello, que en “Input Ports” se establece un flujo máximo de entrada de 98 kg, correspondiente a la cantidad que libera la báscula que hace un mayor pesaje, es decir, la de sílice. No se establece el flujo de entrada como la suma de las dos, porque el elemento de simulación primero recibe el material de un puerto de entrada, y luego el del otro.

No obstante, el caudal de salida si que se define como la suma de ambos pesajes, siendo de 146,4 kg/s.

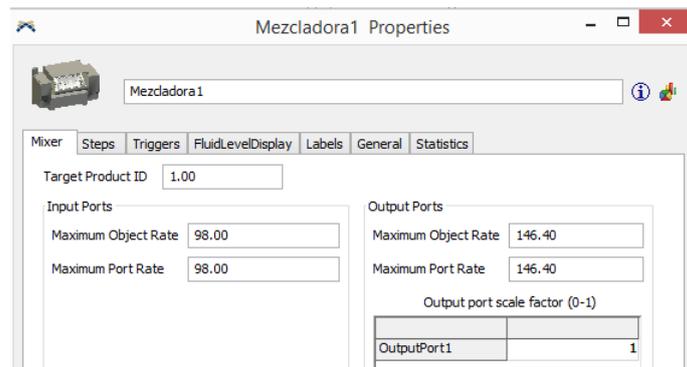


Figura 35. Propiedades mezcladora, caudales

Los pasos que realiza el dispositivo en la simulación son 3 (figura 36):

1. Recibe el pesaje de la báscula de carbonato.
2. Recibe el pesaje de la báscula de sílice.

- Mezcla ambos materiales con un tiempo de proceso de 10 segundos, como se anota en la casilla "delay".

De esta forma, como ingredientes se han tomado la arena de sílice, con una cantidad de 98 kg y el carbonato con 48,4 kg.

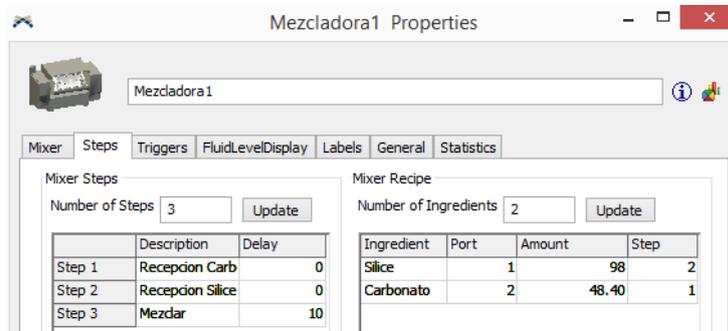


Figura 36. Propiedades mezcladora, etapas e ingredientes

Elevador- FluidConveyor

Tras la mezcladora, la mezcla pasa por un elevador que conduce el material a las roscas de mezcla.

Este elevador retiene a la mezcla 40 segundos, por lo que en la simulación se representa el elemento con una longitud de 4 metros, y se le otorga una velocidad de 0,1 m/s.

En cuanto a la cantidad máxima, no afecta a las estadísticas por lo que se pone una cantidad de 1.000 kg.

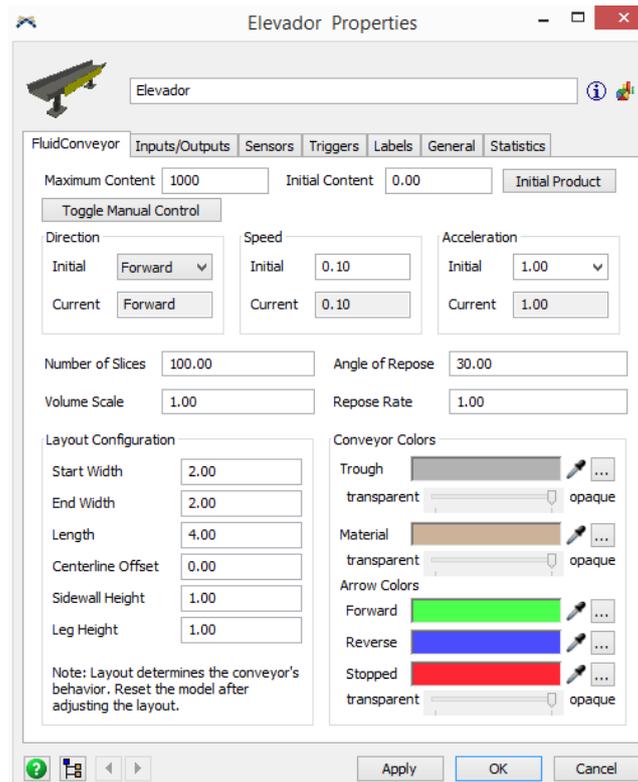


Figura 37. Propiedades elevador

Roscas 1, 2, 3 y 5- FluidMixer

En cuanto a las 5 roscas que tienen lugar en la simulación, todas tienen las mismas propiedades menos la rosca 4.

El caudal de entrada y salida, viene fijado por los elementos antecesores, y se establece como la suma de la mezcla ya comentada, siendo de 146,4 kg/s.

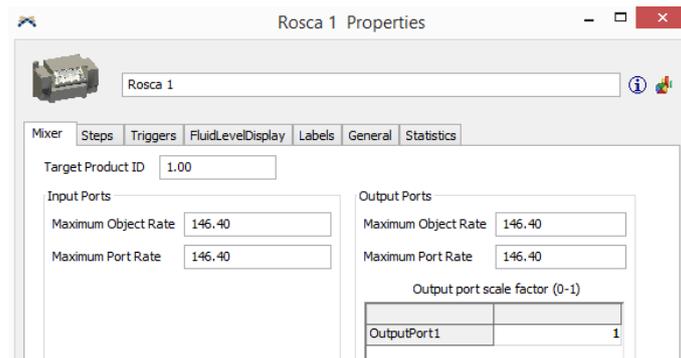


Figura 38. Propiedades roscas 1, 2 y 3, caudales

Los pasos a seguir por las roscas 1, 2, 3 y 5, como ilustra la figura 39, son:

1. Recepción del elemento antecesor.
2. Realización de la mezcla con un tiempo de proceso de 10 segundos.

Sólo se tiene un ingrediente, la mezcla.

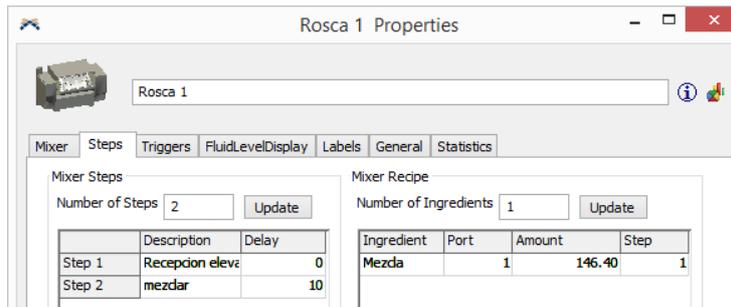


Figura 39. Propiedades roscas 1, 2, 3 y 5, etapas e ingredientes

Rosca 4- FluidMixer

Lo que diferencia a la rosca 4 de sus antecesoras, es que a partir de aquí, la línea de producción dosifica la mezcla a dos "silos de mezcla" diferentes cada cierto tiempo.

La empresa cuenta con el dato de que se alimenta un 40% del tiempo (20 minutos) al silo que alimenta al horno 3, y el 60 % restante (30 minutos) a la rosca 5 que acaba alimentando al horno 4. De esta forma, debajo de las propiedades de la rosca 4, en "Adjust Output rates", se debe de poner la opción "Open One Output", para que la rosca 4 sólo alimente a uno de los silos de mezcla.

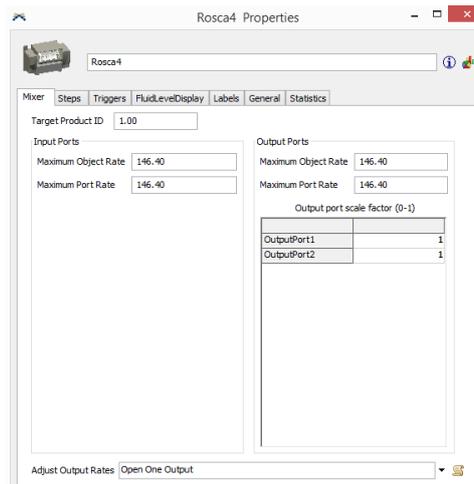


Figura 40. Propiedades rosca 4

Conexión roscas con silo de mezcla- FluidPipe

Se programa de la misma forma que los otros "FluidPipe" comentados, a diferencia de que se debe de modificar la cantidad del caudal de entrada y salida, siendo esta de 146,4 kg/s.

Silo de mezcla 3- FluidTank

Este silo de mezcla, recibe la materia a tratar proveniente de la rosca 4 y se la transmite al horno 3. Se define el contenido máximo en 25 toneladas, y un contenido

inicial de 2.500 kg para que el horno empiece a funcionar desde el inicio de la simulación⁷.

El caudal de entrada viene definido por la rosca 4, siendo de 146,4 kg/s, y el de salida viene establecido por el consumo diario del horno 3. El consumo diario de mezcla es de 97.000 kg, que si se pasan a segundos, se obtiene el cauda de salida del silo de mezcla 3, siendo de 1,12 kg/s.

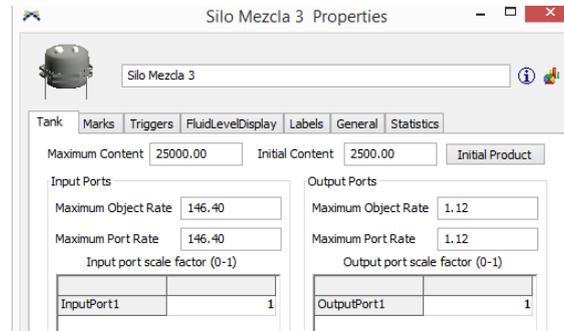


Figura 41. Propiedades silo de mezcla 3

Silo de mezcla 4- FluidTank

El silo de mezcla 4 tiene una capacidad máxima de 25 toneladas, y al igual que el silo de mezcla 3, se establece un contenido inicial de 2.500 kg.

El caudal de entrada es de 146,4 kg/s, que llegan cada 44 segundos desde la rosca 5. El caudal de salida se obtiene de la misma forma que se ha visto en el silo de mezcla 3, cambiando la cantidad que consume el horno 4, siendo de 143.000 kg al día. De esta forma, el caudal de salida del silo de mezcla 4 es de 1,66 kg/s.

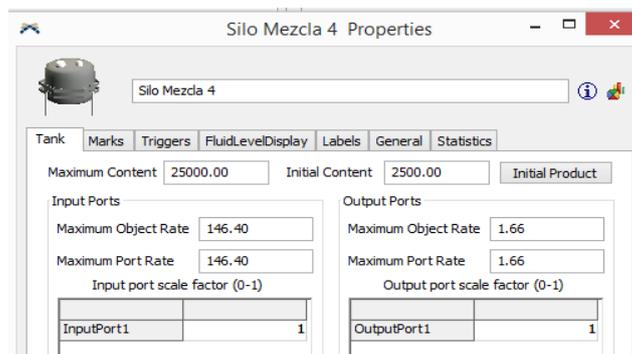


Figura 42. Propiedades silo de mezcla 4

Alimentación horno 3 y 4- FluidPipe

Los caudales de los dos tubos que alimentan a los dos hornos tienen fijados sus caudales de entrada y salida según el caudal establecido por los hornos que les corresponden.

⁷ Se va apreciar un ligero aumento en el contenido del silo de mezcla a lo largo de la simulación, debido a que el material que almacena presenta una gran capacidad de adhesión en las paredes, y se queda retenido en el silo.

Horno 3 y 4- FluidProcessor

Para la programación de los hornos, se debe de atender a tres propiedades: contenido máximo (“*Maximum Content*”), caudal de salida (“*Output Rate*”) y porcentaje de pérdida de material en el proceso (“*Loss Value*”).

-Contenido máximo: Se establece de una cantidad lo suficientemente elevada como para que no se tenga en cuenta este dato en las estadísticas de la simulación.

-Porcentaje de pérdida de material: SIMAL observa en el proceso de horneado, unas pérdidas de material de alrededor del 17 %.

-Caudal de salida: Como el porcentaje de pérdidas es del 17 %, y la cantidad que hay por lote de mezcla al entrar a los silos es de 146,4 kg, si se considera el porcentaje perdido, se obtiene una cantidad de 121,61 kg por mezcla.

Estas propiedades son iguales para ambos hornos. Sin embargo, el horno 4 genera mayor cantidad que el horno 3, al ser recargado en mayores cantidades.

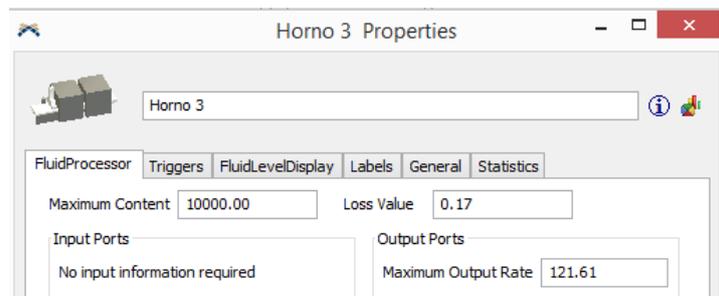


Figura 43. Propiedades hornos

Composiciones- FluidToItem

Este dispositivo establece una relación de 121,61 kg por composición obtenida en la línea. En la simulación se representan las composiciones como esferas.

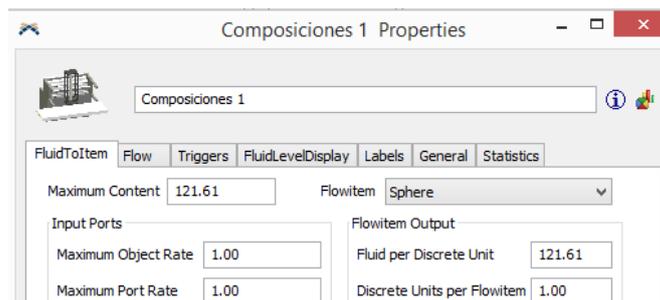


Figura 44. Propiedades composiciones

Por otra parte, la mezcla adquiere un color azulado por lo que se atribuye esta característica a las esferas representadas (figura 45).

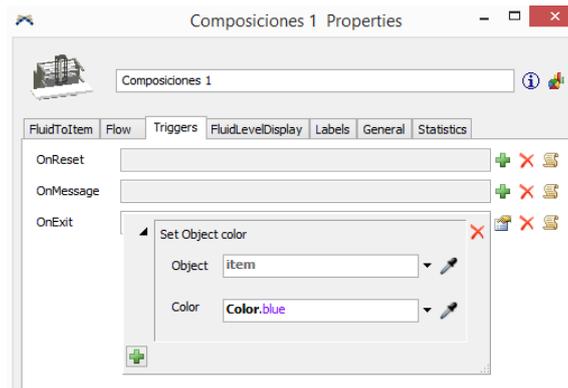


Figura 45. Propiedades composiciones, color

Lingotera 3- Conveyor

En cuanto a las lingoteras, la que corresponde a la parte de la línea del horno 3, tiene un tiempo de proceso de 15 minutos (900 segundos), por lo que se establece una longitud de 9 metros y una velocidad de 0,01 m/s.

La segunda lingotera, asociada al enfriamiento de las composiciones provenientes del horno 4, tiene un tiempo de enfriamiento de 18 minutos (1.080 segundos), por lo que se fija con una longitud de 10,8 metros y la misma velocidad que la primera lingotera.

Almacén SN- Rack

Se trata del último elemento de la línea que representa el almacenamiento de las composiciones producidas. Se pone una cantidad que sea mayor a la producción diaria de la planta, por lo que se establece en 2.000 composiciones. Además, se establece como un "Floor Storage", para que visualmente en la simulación sea más cómodo que el formato original que tiene el dispositivo. Lo que hace tener esta opción activada es tener un almacén horizontal en vez de vertical.

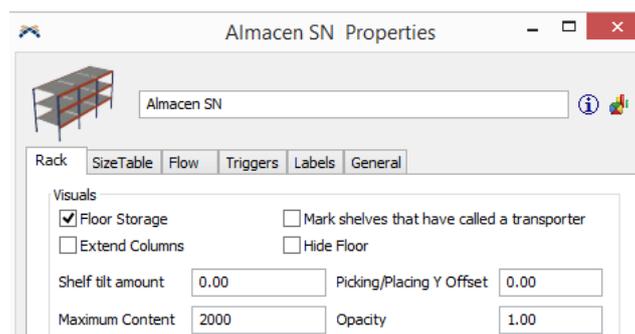


Figura 46. Propiedades almacén

Time table- Parada básculas

Finalmente, se debe de programar las paradas que se realizan en las básculas de pesaje, cuando se realiza el cambio de sentido de alimentación en la rosca 4 (a ratos se conduce la mezcla hacia la rosca 5 y el resto del tiempo hacia el silo de mezcla 3), como se ha explicado en la descripción del caso de estudio.

Para ello se accede al menú “Toolbox”, y en “Timetables” se añade los objetos que realizan las paradas en la simulación (figuras 47 y 48). En el caso de estudio de SIMAL, se aplica el “timetable” a la báscula de sílice y a la de carbonato.

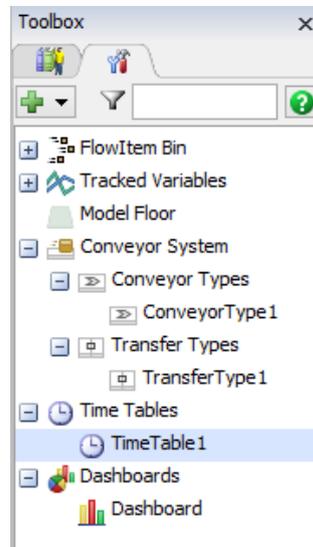


Figura 47. Time table, toolbox

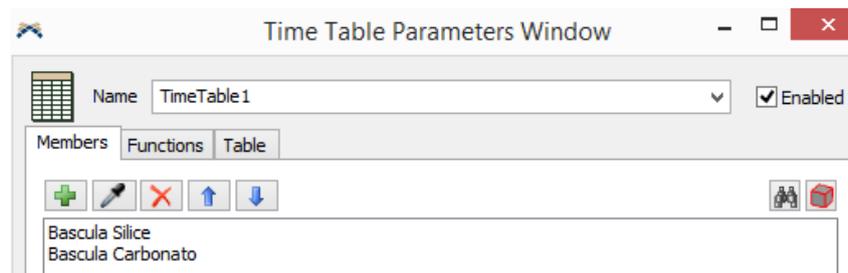


Figura 48. Propiedades time table básculas, miembros

Como se dispone como datos que se alimenta continuamente al silo de mezcla 3 durante 20 minutos, y tras una parada de 150 segundos se alimenta al silo de mezcla 4 durante 30 minutos, se define la “timetable” como ilustra la figura 49.

-En la casilla “Time” se introduce el valor del momento en el que va a comenzar cada parada. La primera parada se realiza cuando se termina de recargar el horno 3 (20 minutos). La segunda tiene lugar 30 minutos después de que acabe la primera parada, por tanto, la segunda parada tiene lugar a los 3.150 segundos.

-En la ventana “State” se introduce el valor 12, que equivale a “Scheduled Down” (Plan de trabajo inactivado). [11]

-En “Duration”, se fija el tiempo de duración de las paradas en 150 segundos.

-Finalmente, en “Custom repeat”, se pone el valor de 3.300, siendo el tiempo con el que se va repetir las paradas.

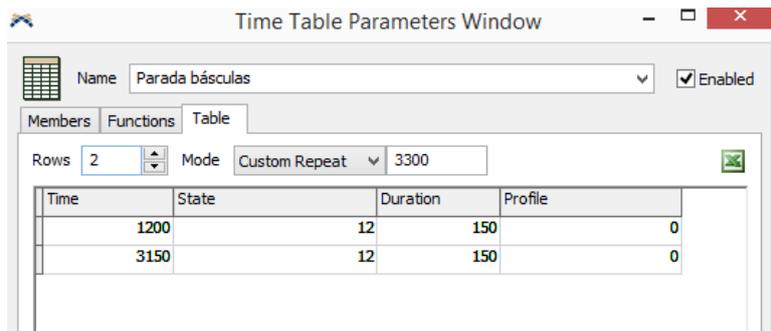


Figura 49. Propiedades time table básculas, tabla

Time table- Parada silo mezcla 3 y 4

Como se ha comentado en la descripción del caso SIMAL, se alimenta intermitentemente a los silos de mezcla. Es por ello que se debe de establecer unas paradas de funcionamiento para los tubos que alimentan a los silos de mezcla, “Conexión roscas_silo mezcla3” y “Conexión roscas_silo mezcla 4”.

De esta forma, se elaboran dos time tables diferentes, la primera denominada “Parada silo mezcla 3”, como aparece en la figura 50, se asocia al tubo que alimenta al silo de mezcla 3. La segunda, se asocia a los elementos que alimentan el silo de mezcla 4, por lo que afecta a la rosca 5 y al tubo que le sucede, como ilustra la figura 51.

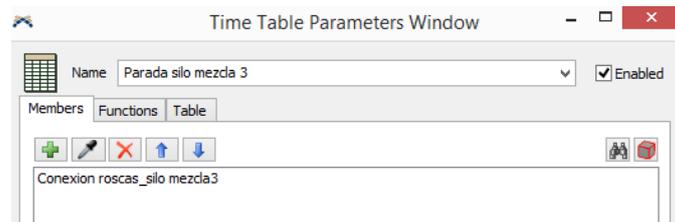


Figura 50. Propiedades time table silo de mezcla 3, miembros

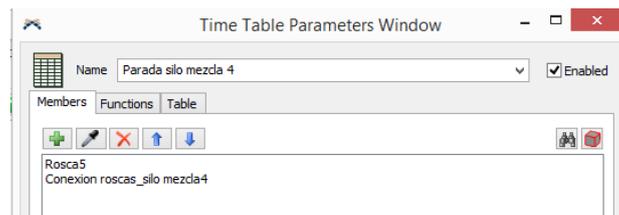


Figura 51. Propiedades time table silo de mezcla 4, miembros

En la simulación se va comenzar alimentando al horno 3, por lo que la primera parada que va tener lugar en “Parada silo mezcla 3” va ser después de haber recargado los 20 minutos al silo, y haber realizado la parada de 150 segundos de las básculas, haciendo un total de 1350 segundos. La duración de la parada va ser del tiempo que se esté alimentando al silo de mezcla 4 (30 minutos) junto con la correspondiente parada de básculas asociada (150 segundos), haciendo una parada de 1950 segundos (figura 52).

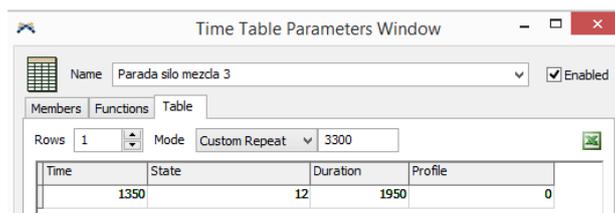


Figura 52. Propiedades time table silo de mezcla 3, tabla

Por otro lado, la alimentación al silo de mezcla 4 al comienzo de la simulación va ser nula, al comenzar la línea alimentando al otro silo de mezcla. De esta forma, la parada comienza en el segundo 0, y dura el tiempo que se recarga al otro silo, ya comentado, de 1.350 segundos.

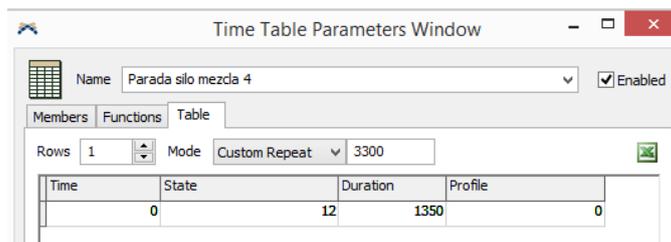


Figura 53. Propiedades time table silo de mezcla 4, tabla

Ambas paradas se repiten con una periodicidad de 3.330 segundos, tiempos que es el resultado de sumar la duración de ambas paradas.

7.4 Ejecuta el modelo

Para analizar la línea se utilizan una serie de gráficos y de datos facilitados por Flexsim.

En primer lugar, al finalizar la simulación se observa que se han producido 1621 composiciones en el día simulado. Con este dato se puede obtener el “tiempo ciclo” de la línea, cumpliendo el tiempo ciclo la siguiente expresión:

$$T_c = \frac{\text{Tiempo de producción (segundos)}}{\text{unidades producidas (composición o kg)}} = \frac{86.400 \text{ (segundos)}}{199.647 \text{ (kg)}} = 0,43 \text{ (s/kg)}$$

(1)

$$T_c = \frac{\text{Tiempo de producción (segundos)}}{\text{unidades producidas (composición o kg)}} = \frac{86.400 \text{ (segundos)}}{199.647 \text{ (kg)}} \cdot \frac{121,6 \text{ (kg)}}{1 \text{ (composición)}} =$$

$$= 52,62 \text{ (s/composición)}$$

7.4.1 Identificación del cuello de botella

Para identificar que elemento de la línea es el cuello de botella, se observa las salidas que realiza cada dispositivo de la planta. De esta forma, aprovechamos el dato de “Outputs” que nos facilita el software a la derecha del programa, en el área de “Quick Properties”. En este estudio de salidas de cada elemento, se desechan los datos

asociados a los silos de sílice y carbonato, ya que estos se adaptan a las necesidades de las básculas. Del mismo modo, se descarta el análisis de las salidas de las lingoteras, ya que tienen el mismo tiempo de ciclo que define los hornos.

Quick properties de los diferentes elementos

A continuación, se ilustran tanto las entradas como salidas de los diferentes elementos (en kilogramos), así como el cálculo realizado para obtener el “Output rate”, que se trata de la cantidad de materia que sale por unidad de tiempo.

-Báscula de sílice

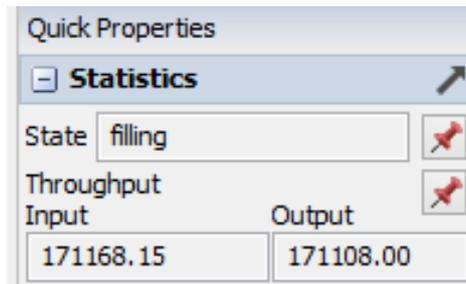


Figura 54. Quick properties, báscula de sílice

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{171.108}{86.400} = 1,98 \text{ (kg/s)}$$

(2)

-Báscula de carbonato

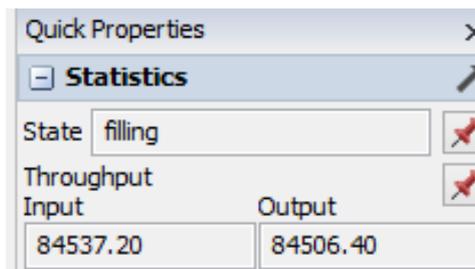
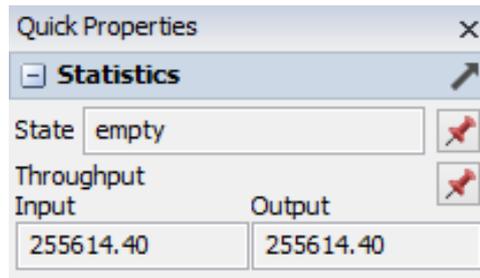


Figura 55. Quick properties, báscula de carbonato

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{84.506,4}{86.400} = 0,98 \text{ (kg/s)}$$

-Mezcladora

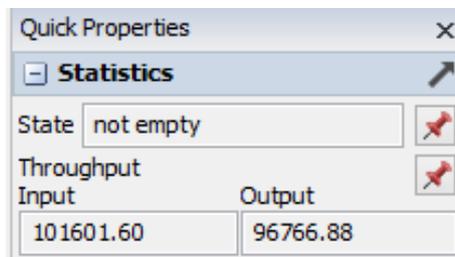


Quick Properties	
Statistics	
State	empty
Throughput	
Input	Output
255614.40	255614.40

Figura 56. Quick properties, mezcladora

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{255.614,4}{86.400} = 2,96(\text{kg/s})$$

-Silo mezcla 3

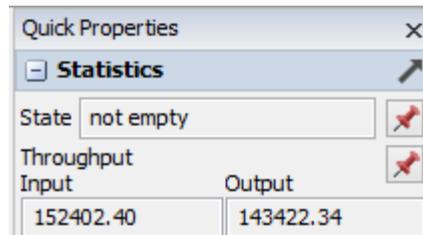


Quick Properties	
Statistics	
State	not empty
Throughput	
Input	Output
101601.60	96766.88

Figura 57. Quick properties, silo de mezcla 3

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{96.766,88}{86.400} = 1,12(\text{kg/s})$$

-Silo mezcla 4

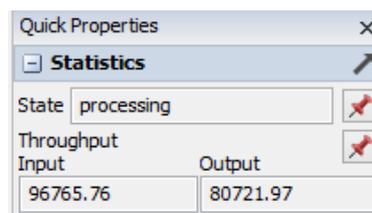


Quick Properties	
Statistics	
State	not empty
Throughput	
Input	Output
152402.40	143422.34

Figura 58. Quick properties, silo de mezcla 4

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{143.422,34}{86.400} = 1,66(\text{kg/s})$$

-Horno 3



Quick Properties	
Statistics	
State	processing
Throughput	
Input	Output
96765.76	80721.97

Figura 59. Quick properties, horno 3

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{80.721,97}{86.400} = 0,94(\text{kg/s})$$

-Horno 4

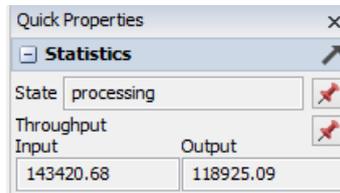


Figura 60. Quick properties, horno 4

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{118.925,09}{86.400} = 1,38\text{kg/s}$$

De esta forma, se recogen los datos obtenidos en la tabla 8.

OBJETO	OUTPUT RATE (kg/s)	OUTPUT (kg/día)	Tc (s/kg)
Báscula sílice	1,98	171.108,00	0,51
Báscula carbonato	0,98	84.506,40	1,02
Mezcladora	2,96	255.614,40	0,34
Silo mezcla 3	1,12	96.766,88	0,89
Silo mezcla 4	1,66	143.422,34	0,60
Horno 3	0,94	80.721,97	1,06
Horno 4	1,38	118.925,09	0,72
Global	2,32	199.647,06	0,43

Tabla 8. Resumen output rates, outputs y tiempo ciclo

Se observa que el elemento con mayor tiempo de ciclo se trata del horno número 3, con un tiempo de ciclo de 1,06 (s/kg), por tanto, se identifica como el cuello de botella de la planta de silicato sólido.

Por otro lado, la báscula de carbonato también dispone de un tiempo de ciclo bastante similar al del horno 3. Sin embargo, esta no se considera como el cuello de botella, puesto que tiene este tiempo de ciclo debido a las exigencias actuales de la línea, ya que si se requiere aumentar su capacidad productiva se podría realizar sin inconvenientes.

7.4.2 Estudio silos de mezcla

Aparte de proponer mejoras del cuello de botella, SIMAL es consciente de que la mezcla con la que trata se adhiere a las paredes de los silos de mezcla, y por ello, se realizan labores de mantenimiento con cierta frecuencia. De esta forma, se procede a analizar los silos de mezcla, con el objetivo de proponer alguna alternativa para disponer de mayor tiempo para la labor de mantenimiento de los silos.

Se observa que el contenido de los silos aumenta en un día considerablemente.

La figura 61 ilustra la diferencia de contenido que hay a lo largo de un día en el silo de mezcla 3.

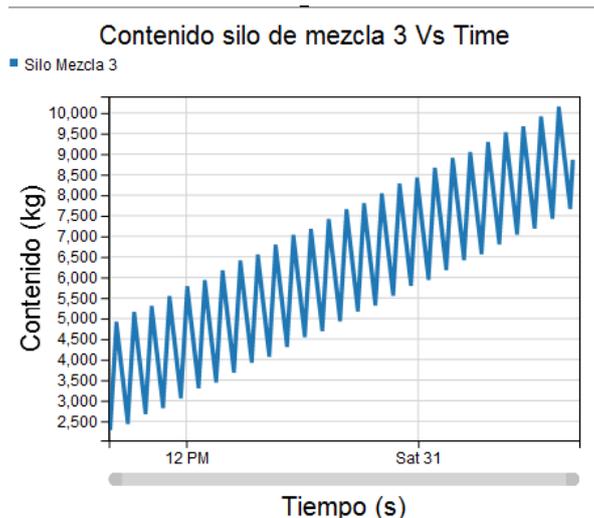


Figura 61. Gráfica contenido vs tiempo, silo de mezcla 3

Como se define en las propiedades, el silo de mezcla 3 comienza con un contenido de 2.500 kg de mezcla, y como se observa en la figura 61 finaliza la jornada diaria con una cantidad cercana a los 9.000 kg.

En cuanto al silo de mezcla 4, al consumir el horno 4 una mayor cantidad de material, por el silo de mezcla 4 pasa también una mayor cantidad de mezcla, y como se observa en la figura 62, se adhiere mayor cantidad a las paredes, llegando a finalizar la jornada de producción con una cantidad cercana a los 11.000 kg.

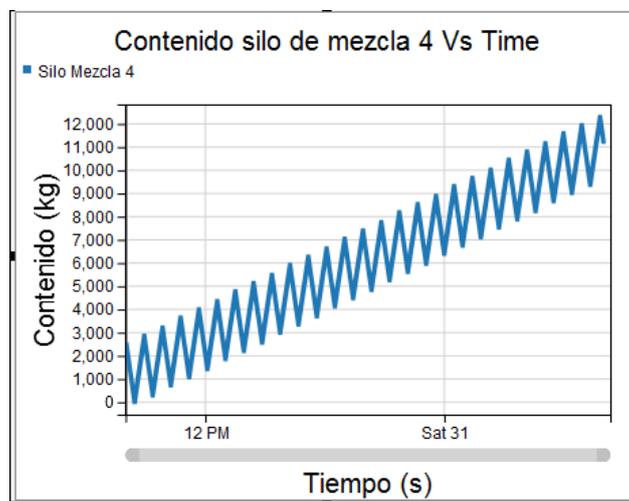


Figura 62. Gráfica contenido vs tiempo, silo de mezcla 4

Se puede observar en ambas gráficas que la evolución en el tiempo del contenido presenta ligeras oscilaciones. Estas representan la alimentación intermitente que se realiza, teniendo pendiente positiva cuando se alimenta al silo de mezcla, y negativa cuando no está recargando mezcla y el silo sólo expulsa material.

Actualmente, como muestra la tabla 6 en el objeto "rosas", se recarga un tiempo medio de 20 minutos al horno 3 y 30 minutos al horno 4. Esto conlleva, a que mientras se recarga al horno 3, se dispone de 20 minutos para quitar el material adherido del

horno 4, y en el caso contrario, mientras que se recarga el horno 4, se dispone de 30 minutos para ejercer esta labor de mantenimiento en el horno 3.

7.5 Propuestas de mejora

Caso 1. Silos de mezcla

Introducción

Para disponer de mayor tiempo para las labores de mantenimiento en los silos de mezcla, se propone alimentar a ambos hornos a través del mismo silo de mezcla, consiguiendo de esta manera, tener el otro silo de mezcla sin actividad y facilitar labores de mantenimiento. De la misma forma, al estar alimentando a los dos hornos a la vez desde un mismo silo, desaparece la necesidad de tener que realizar tantos cambios de sentido de la alimentación en la rosca 4. Gracias a este suceso, se propone reducir el número de cambios de sentido de la alimentación, aumentando por tanto el tiempo que se recarga cada silo. Se va plantear el caso en el que en vez de realizar dos paradas en las básculas de pesaje en 3.300 segundos como se realiza actualmente, se haga tan sólo una parada.

Construcción del modelo

Al cambiar el planteamiento de la simulación, las propiedades de algunos elementos se modifican.

Silos de mezcla 3 y 4

Ambos silos mantienen las mismas propiedades, salvo con la propuesta, cuando tengan que alimentar a los hornos, lo harán a los dos a la vez, por lo que el caudal de salida de los silos de mezcla va ser la suma del material que necesitan ambos hornos, siendo de 2,78 kg/s como se observa en las figuras 63 y 64 en “output ports”.

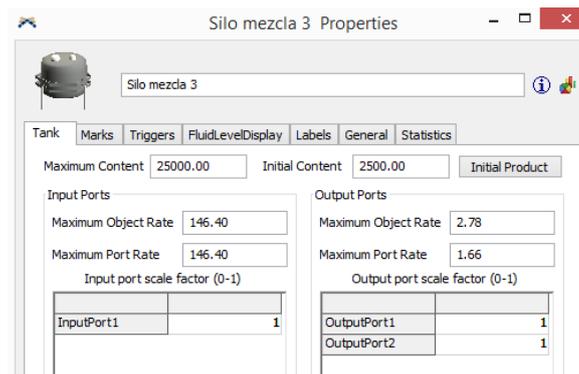


Figura 63. Propiedades silo de mezcla 3, caso de estudio 1

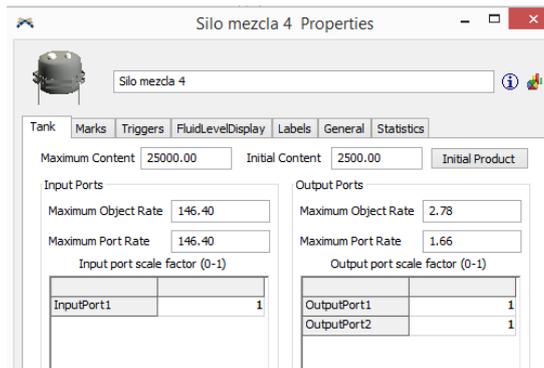


Figura 64. Propiedades silo de mezcla 4, caso de estudio 1

Como se propone alimentar a los dos hornos a la vez desde un mismo silo, es necesario introducir dos nuevos elementos que conecten a los silos, con el horno que en la actualidad no tiene contacto como se ilustra en la imagen 65.

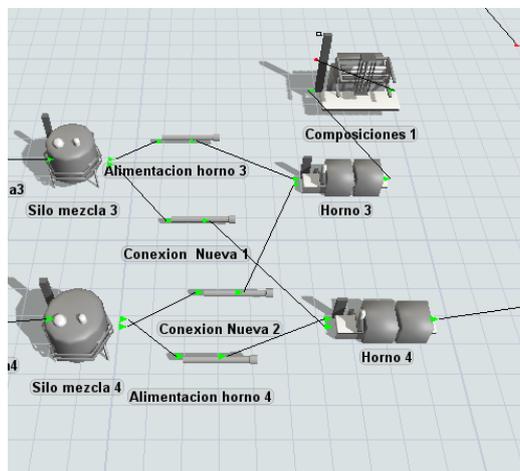


Figura 65. Localización conexiones nuevas, caso de estudio 1

Conexión nueva 1 y 2

Para la conexión nueva asociada al silo de mezcla 3, se le atribuyen las propiedades exigidas para poder alimentar al horno 4, estableciendo un caudal de entrada y salida de 1,66 kg/s.

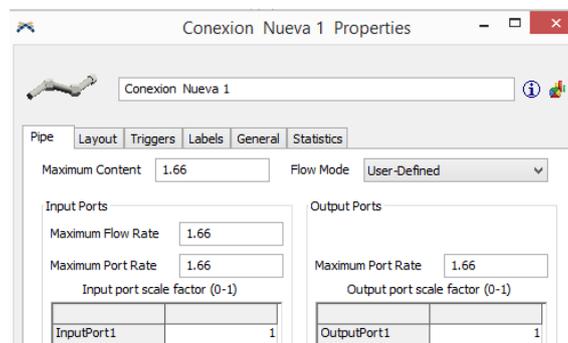


Figura 66. Propiedades conexión nueva 1, caso de estudio 1

Análogamente, para el silo de mezcla 4 se introduce el elemento “Conexión Nueva 2”, que le conecta con el horno 3, y por ello se le atribuye a la conexión el caudal exigido por el horno 3 de 1,12 kg/s.

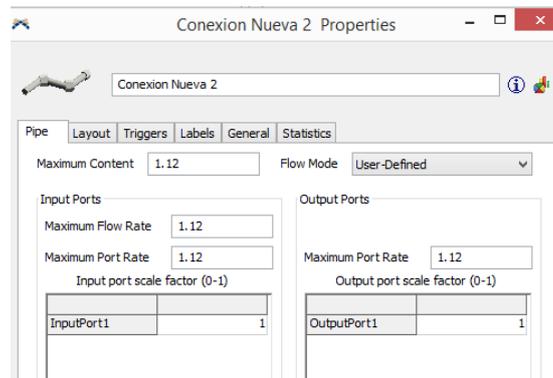


Figura 67. Propiedades conexión nueva 2, caso de estudio 1

Al mismo tiempo que se modifican las propiedades de los elementos, también se deben de modificar los parámetros asociados a las time tables.

Parada básculas

Como se ha comentado, se propone reducir el número de paradas a la mitad, por lo que la primera parada tendrá lugar en el segundo 3.150. La duración no se modifica al ser un aspecto técnico establecido por la empresa.

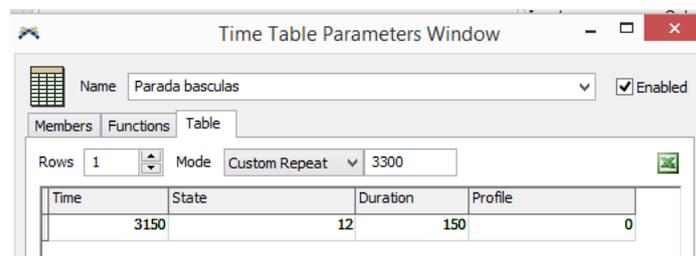


Figura 68. Propiedades time table básculas, caso de estudio 1

Parada silo 3

Se asocian a esta time table los elementos que figuran en la imagen 69, estableciendo que los elementos asociados al silo de mezcla 3 comienzan en reposo durante 3.330 segundos como aparece en la figura 70.

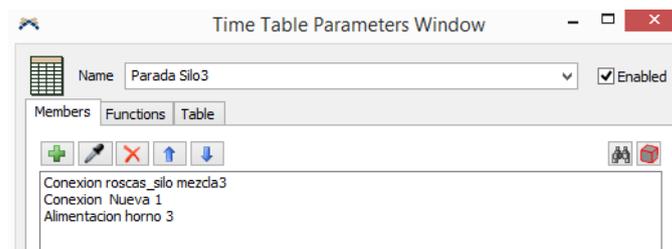


Figura 69. Propiedades time table silo de mezcla 3, miembros, caso de estudio 1

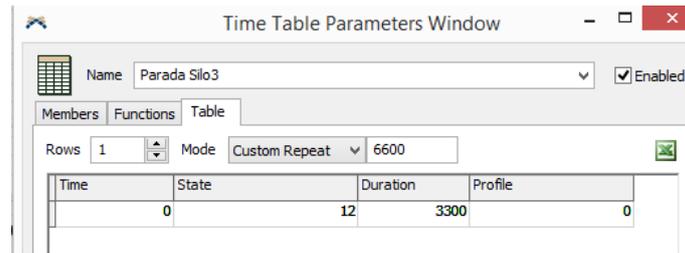


Figura 70. Propiedades time table silo de mezcla 3, tabla, caso de estudio 1

Parada silo 4

De la misma forma que en “parada silo 3”, se ilustran en la figura 71 los elementos asociados a esta time table, incluyendo en este caso también a la rosca 5.

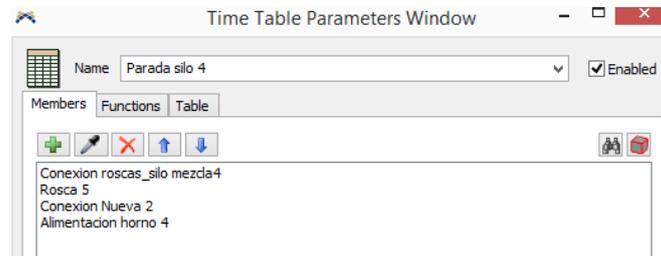


Figura 71. Propiedades time table silo de mezcla 4, miembros, caso de estudio 1

Como en la simulación de propuesta la actividad de alimentación comienza en el silo de mezcla 4, su primera parada tiene lugar en el segundo 3.300, repitiéndose cada 6.600 segundos y con una duración de 3.300 (tiempo en el que tiene lugar la actividad del silo de mezcla 3).

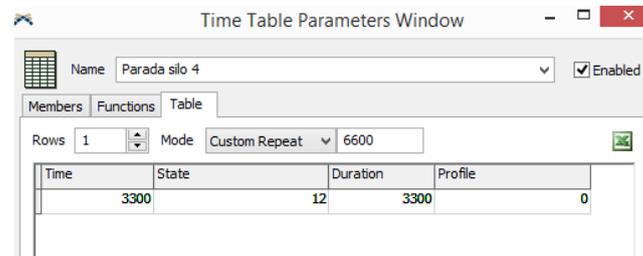


Figura 72. Propiedades time table silo de mezcla 4, tabla, caso de estudio 1

Análisis de la propuesta de silo de mezcla

Una vez modificados los aspectos que varían respecto a la versión original, se procede a analizar las estadísticas de la alternativa propuesta.

Se puede observar en las figuras 73 y 74 que los contenidos de los silos aumentan al igual que en el caso original, no obstante, se pueden apreciar ciertas diferencias.

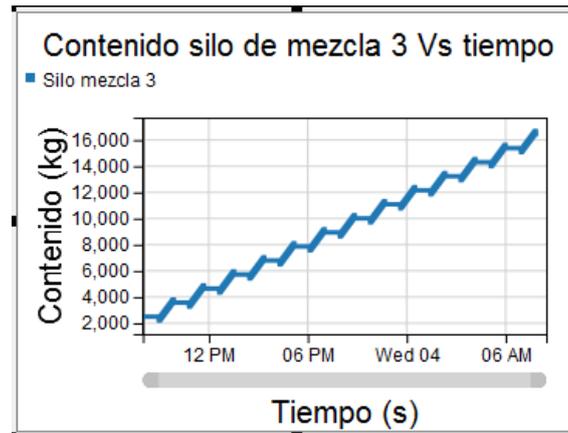


Figura 73. Gráfica contenido vs tiempos silo de mezcla 3, caso de estudio 1

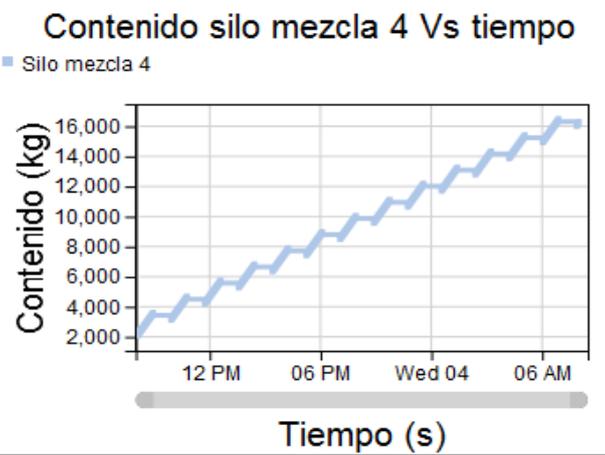


Figura 74. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 4, caso de estudio 1

En primer lugar, se contempla un aumento mayor del contenido de los silos que en el caso original, finalizando con una cantidad cercana a los 16.000 kg en ambos silos. Esto se debe a que al retirar una de las dos paradas que realizaban las básculas, se alimenta más tiempo a los silos de mezcla. Este aspecto se puede ver reflejado comparando la figura 75 que representa el porcentaje de actividad de las básculas en la versión original, y la figura 76, representando el porcentaje de actividad en la versión de mejora. En la versión de mejora el porcentaje dedicado a las paradas (“Scheduled down”) desciende a la mitad.

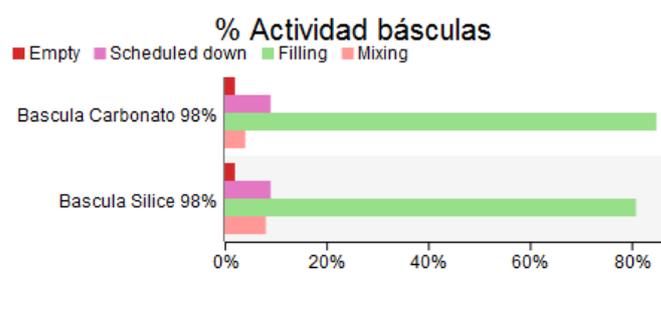


Figura 75. Porcentaje actividad de básculas en la versión original

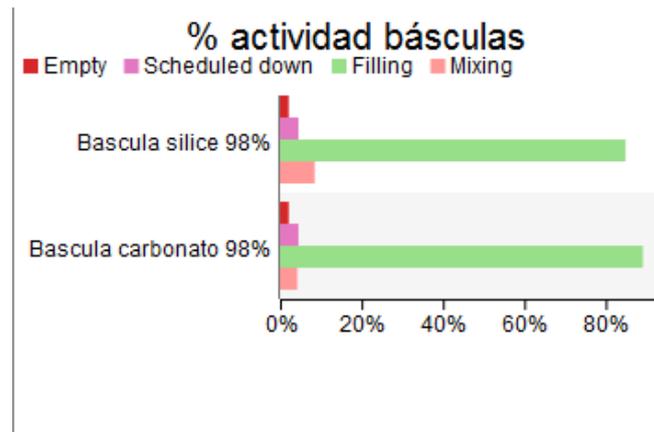


Figura 76. Porcentaje actividad de básculas en el caso de estudio 1

Por otro lado, el aumento del contenido progresa de forma diferente en el tiempo con respecto a la versión original. En la versión actual, como se ha comentado en las figuras 61 y 62, el aumento del contenido oscila debido a la alimentación intermitente. En la alternativa propuesta, se aprecian intervalos de tiempo con pendiente nula, que representa la no variación del contenido en el tiempo, por lo que esos tramos, son los que se tienen que aprovechar para labores de mantenimiento.

Caso 2. Mejora del cuello de botella

Introducción

En el segundo caso se realiza una propuesta de mejora sobre el cuello de botella identificado, tratándose del horno 3. De este modo, se propone a SIMAL adquirir un nuevo horno 4 en lugar del horno 3 del que dispone ahora, o bien, realizar mejoras técnicas en las propiedades del horno 3 y conseguir que se asemeje a las capacidades de producción del horno 4.

De esta forma, al aumentar la capacidad del horno 3, se debe de aumentar las capacidades de los demás elementos, adaptando sus propiedades a los requisitos que necesite el nuevo horno. Por ejemplo, como el nuevo horno va consumir más material en el mismo tiempo de actividad, se necesita que las básculas de pesaje alimenten la misma relación de materia prima en menor tiempo. Por ello, se debe ajustar el tiempo que necesitan las básculas para realizar los pesajes y poder satisfacer correctamente al nuevo horno.

Construcción del modelo

En primer lugar, se modifica el caudal de salida del silo de mezcla 3, estableciendo el mismo caudal de salida que exige el horno 4 de 1,66 kg/s. A su vez, se modifica el correspondiente elemento que uno el silo de mezcla 3 con el horno 3.

Silo de mezcla 3

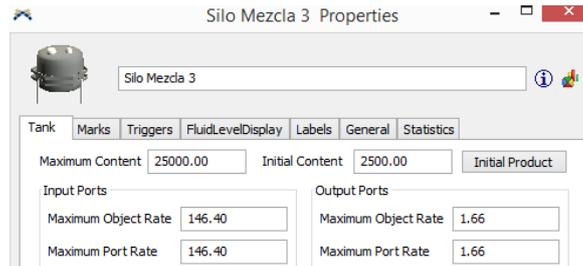


Figura 77. Propiedades silo de mezcla 3, caso de estudio 2

Alimentación horno 3

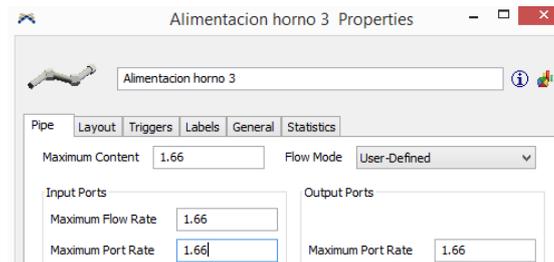


Figura 78. Propiedades alimentación horno 3, caso de estudio 2

A continuación, se va mostrar paso a paso las operaciones necesarias para calcular las nuevas velocidades de recarga que se les exige a las básculas de pesaje para satisfacer la nueva demanda de los hornos, así como el tiempo del que disponen para ello.

En primer lugar, se observa en la figura 58, “quick properties, silo de mezcla 4”, que el consumo de material que necesita es de 152.492,4 kg, por lo que al tener en el caso propuesto dos hornos de características semejantes al horno 4, se van a necesitar 304.804,8 kg.

Conociendo la cantidad consumida por ambos hornos, se necesita conocer el porcentaje del tiempo que se deja de alimentar a causa de las paradas en las básculas de pesaje. Dicho porcentaje es producto de dividir 150 segundos (tiempo que dura una parada) entre el denominador formado por 30 minutos (tiempo que se recarga a un silo) y los 150 segundos de la parada.

$$\begin{aligned} \% \text{ Tiempo no se recarga} &= \frac{T \text{ parada (s)}}{T \text{ parada (s)} + T \text{ recarga (s)}} = \\ &= \frac{150 \text{ (s)}}{150 \text{ (s)} + 1.800 \text{ (s)}} \cdot 100 = 7,69\% \end{aligned}$$

(3)

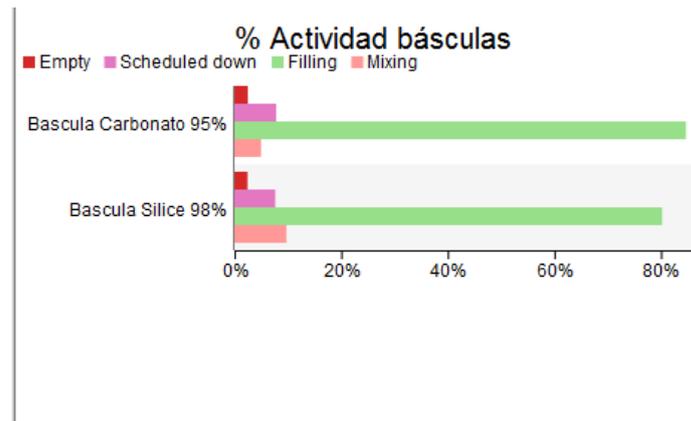


Figura 79. Porcentaje actividad básculas, caso de estudio 2

El porcentaje de tiempo dedicado a las esperas se ve reflejado también en la figura 79, coincidiendo con el dato calculado. Se observa que dicho porcentaje disminuye ligeramente con la versión original (figura 75) al mantener el mismo tiempo de parada para un mayor tiempo de recarga (se aumenta el tiempo de recarga del horno 3 de 20 minutos a 30), siendo el porcentaje dedicado a las paradas de un 7,69 % (calculado en la expresión 3).

En la versión original el porcentaje del tiempo dedicado a paradas, se calcula teniendo en cuenta dos paradas consecutivas, ya que el tiempo de recarga es diferente para los dos silos de mezcla.

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Tiempo no se recarga versión original} &= \frac{T \text{ parada (s)}}{T \text{ parada (s)} + T \text{ recarga (s)}} = \\
 &= \frac{2 \cdot 150 \text{ (s)}}{2 \cdot 150 \text{ (s)} + 1.800 \text{ (s)} + 1.200 \text{ (s)}} \cdot 100 = 9,1\%
 \end{aligned}$$

(4)

Disponiendo de los datos de cantidad consumida por los hornos, y del porcentaje real que se recarga a los silos de mezcla, se puede obtener la velocidad de recarga que necesita la mezcladora a través de la expresión 4.

$$V \text{ recarga} \cdot \% \text{ real de recarga} \cdot \text{Tiempo simulación} = \text{cantidad consumida}$$

(5)

$$V \text{ recarga (kg/s)} \cdot 0,923 \cdot 86.400 \text{ (s)} = 304.804,8 \text{ (kg)}$$

$$V \text{ recarga de la mezcladora} = 3,82 \text{ (kg/s)}$$

Después de haber obtenido la velocidad de recarga de la mezcladora, se puede conocer las velocidades de recarga de las dos básculas y el tiempo del que disponen para hacer los pesajes.

Como las composiciones están fijadas en 98 kg de sílice y 48,4 kg de carbonato, se debe de realizar el pesaje de estas en los silos de báscula en menor tiempo que la versión original. Para calcular el tiempo necesario se aplica la siguiente expresión:

Cantidad báscula sílice (kg) + Cantidad báscula carbonato (kg) = V recarga mezcladora (kg/s) · Tiempo recarga (s)

(6)

$$98 + 48,4 = T \cdot 3,82$$

$$T = 38,32 \text{ segundos}$$

Esto conlleva a que la velocidad de recarga de la báscula de sílice sea:

$$V \text{ recarga} \cdot T = \text{Cantidad pesaje}$$

(7)

$$V \cdot 38,32 = 98$$

$$V = 2,56 \text{ kg/s}$$

Análogamente para la báscula de carbonato:

$$V \text{ recarga} \cdot T = \text{Cantidad pesaje}$$

$$V \cdot 38,32 = 48,4$$

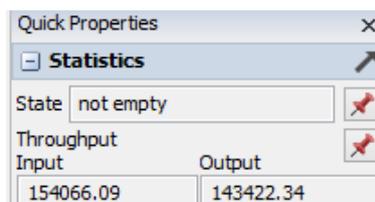
$$V = 1,27 \text{ kg/s}$$

De esta forma, se procede a realizar la simulación, modificando las propiedades relacionadas con los datos calculados en el presente apartado ⁸.

Análisis de mejora, caso 2

A continuación, se reflejan las “quick properties” de los elementos analizados en el apartado del cuello de botella.

Silo de mezcla 3



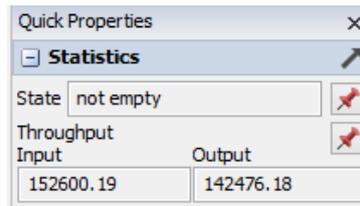
Quick Properties	
Statistics	
State	not empty
Throughput	
Input	Output
154066.09	143422.34

Figura 80, Quick properties silo de mezcla 3, caso de estudio 2

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{143.422,34}{86.400} = 1,66 \text{ (kg/s)}$$

⁸ Al haber explicado en reiteradas ocasiones cómo modificar las propiedades del modelo, en este caso de estudio no se muestran imágenes ilustrativas de la modificación de propiedades.

Silo de mezcla 4

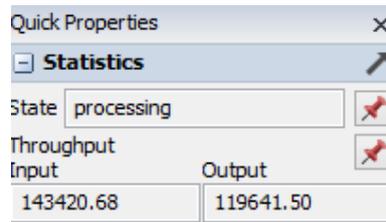


Quick Properties	
Statistics	
State	not empty
Throughput	
Input	Output
152600.19	142476.18

Figura 81. Quick properties silo de mezcla 4, caso de estudio 2

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{142.476,18}{86.400} = 1,65 \text{ (kg/s)}$$

Horno 3

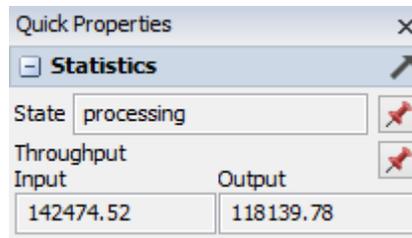


Quick Properties	
Statistics	
State	processing
Throughput	
Input	Output
143420.68	119641.50

Figura 82. Quick properties horno 3, caso de estudio 2

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{119.641,5}{86.400} = 1,38 \text{ (kg/s)}$$

Horno 4

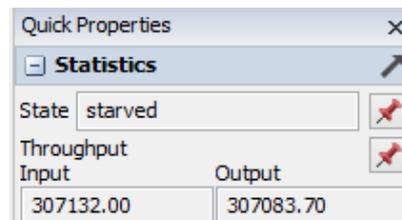


Quick Properties	
Statistics	
State	processing
Throughput	
Input	Output
142474.52	118139.78

Figura 83. Quick properties horno 4, caso de estudio 2

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{118.139,78}{86.400} = 1,37 \text{ (kg/s)}$$

Mezcladora



Quick Properties	
Statistics	
State	starved
Throughput	
Input	Output
307132.00	307083.70

Figura 84. Quick properties mezcladora, caso de estudio 2

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{307.083,7}{86.400} = 3,55 \text{ (kg/s)}$$

Báscula sílice

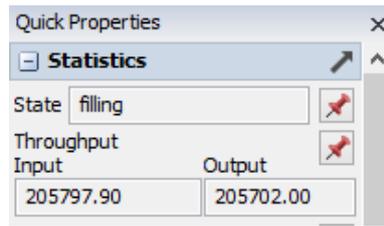


Figura 85. Quick properties báscula de sílice, caso de estudio 2

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{205.702}{86.400} = 2,38 \text{ (kg/s)}$$

Báscula carbonato

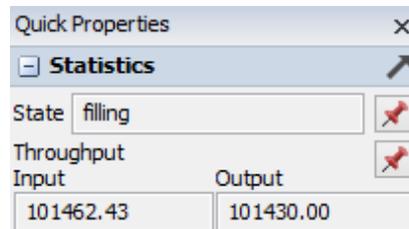


Figura 86. Quick properties báscula de carbonato, caso de estudio 2

$$\text{Output rate} = \frac{\text{Output (kg)}}{\text{Tiempo simulación (s)}} = \frac{101.430}{86.400} = 1,17 \text{ (kg/s)}$$

En la tabla 9, se recogen los datos recién mostrados.

OBJETO	OUTPUT RATE (kg/s)	OUTPUT (kg/día)	Tc (s/kg)
Báscula sílice	2,38	205.702,00	0,42
Báscula carbonato	1,17	101.430,00	0,85
Mezcladora	3,55	307.083,70	0,28
Silo mezcla 3	1,66	143.422,30	0,60
Silo mezcla 4	1,65	142.476,18	0,61
Horno 3	1,38	119.641,50	0,72
Horno 4	1,37	118.139,78	0,73
Global	2,75	237.781,28	0,36

Tabla 9. Resumen output rates, outputs y tiempo ciclo, caso de estudio 2

En la tabla 10, se recogen los tiempos de ciclo por unidad de masa de los diferentes elementos de la línea, facilitando la realización de una comparativa entre la situación original y la propuesta de mejora.

OBJETO	Tc original	Tc propuesta
Báscula sílice	0,51	0,42
Báscula carbonato	1,02	0,85
Mezcladora	0,34	0,28
Silo mezcla 3	0,89	0,60
Silo mezcla 4	0,60	0,61
Horno 3	1,06	0,72
Horno 4	0,72	0,73
Global	0,43	0,36

Tabla 10. Comparación tiempo ciclo versión original vs propuesta de mejora

Se observa que el horno 3 mejora su tiempo ciclo asimilándose a la del horno 4, cercana a los 0,72 segundos por kilogramo. De la misma forma, el tiempo ciclo de las básculas, y como consecuencia la mezcladora, se han visto reducidos por haber ajustado los valores de velocidad de recarga calculados.

De la misma forma, como el tiempo de ciclo de los silos de mezcla está determinado por los hornos, al mejorar el horno 3, mejora igualmente su silo de mezcla correspondiente.

Con esta propuesta se pasa de generar 1621 composiciones a generar 1932 como aparece en la figura 87, incrementándose la producción un 19%.

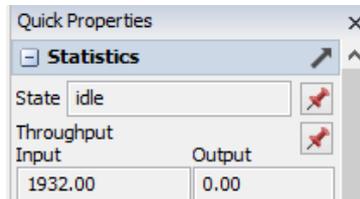


Figura 87. Quick properties rack, caso de estudio 2

En cuanto al contenido de los silos de mezcla, comparando la figura 88 con la figura 61 se observa un aumento considerable en el silo de mezcla 3, debido a que le atraviesa mayor cantidad de mezcla diariamente.

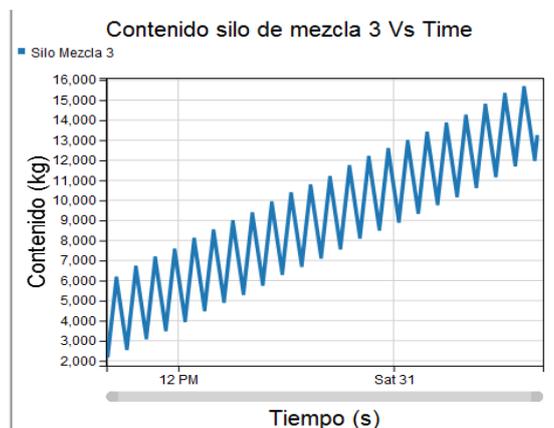


Figura 88. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 3, caso de estudio 2

En cuanto al silo de mezcla 4, comparando las figuras 62 (contenido vs tiempo del silo de mezcla 4) y 89, este presenta un nivel de contenido final similar a la versión original, debido a que sobre él no se han generado modificaciones.

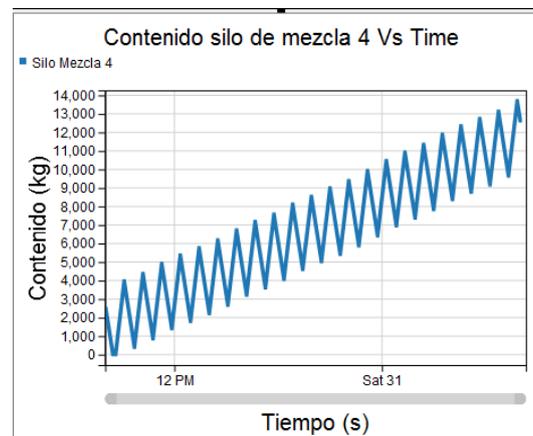


Figura 89. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 4, caso de estudio 2

Caso 3. Combinación de los dos casos de estudio analizados.

Introducción

Observando que se presenta un gran contenido de acumulación de mezcla en los silos de mezcla en la alternativa del caso 2, sería de interés combinar los dos casos ya analizados.

Creación del modelo

Para la simulación de esta propuesta, se parte del modelo de simulación utilizado en el caso 2 (propuesta de mejora del cuello de botella). De esta forma los datos y propiedades que se modifican respecto al segundo caso son:

Conexiones nuevas

Al igual que en el primer caso, se definen dos nuevas conexiones que unan a los silos de mezcla, con los hornos que hasta entonces no alimentaban. A diferencia del primer caso, en este las nuevas conexiones tienen el mismo caudal, ya que ambos hornos tienen las mismas características.

Timetable

Se propone reducir el número de paradas de los silos de básculas a la mitad, por lo que en las propiedades de la time table asociada a las paradas de las básculas, se incrementa el tiempo en el que se realiza la primera parada, a 3.600 siendo la suma de la duración de dos recargas de los hornos de características como las del tipo 4, y la frecuencia con la que se repite 3.750, como se observa en la figura 90.

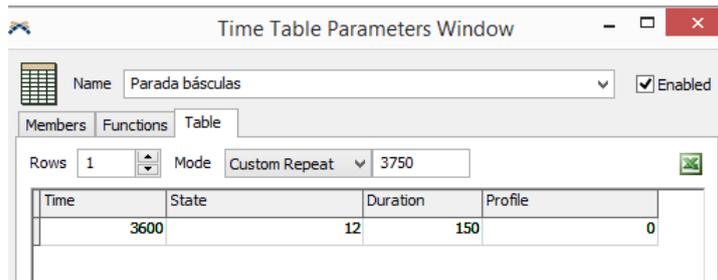


Figura 90. Propiedades time table silo parada básculas, tabla, caso de estudio 3

Por otro lado, en cuanto a las time tables asociadas a las paradas de los dispositivos que recargan los silos de mezcla, se debe de incluir en las paradas a los propios silos de mezcla y a las nuevas conexiones ya mencionadas. Se incluyen a los silos de mezcla, como aparecen en las figuras 91 y 92, ya que se propone que solo recargue uno de los silos a los dos hornos al mismo tiempo, estando el silo correspondiente a la parada inactivo.

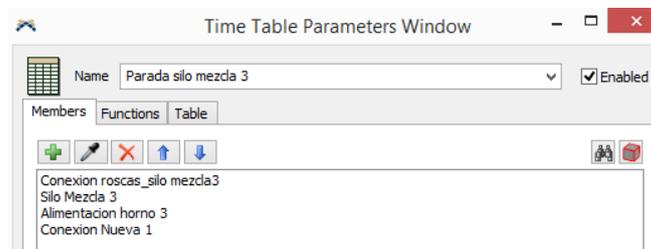


Figura 91. Propiedades time table silo de mezcla 3, miembros, caso de estudio 3

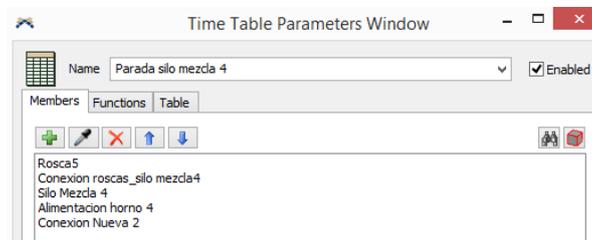


Figura 92. Propiedades time table silo de mezcla 4, miembros, caso de estudio 3

Análisis del caso 3

Ejecutando el nuevo sistema establecido se observa que el contenido de los silos de mezcla aumenta por el motivo de programar a la mitad las paradas realizadas en las básculas de pesaje, alimentando así mayor tiempo a los silos de mezcla.

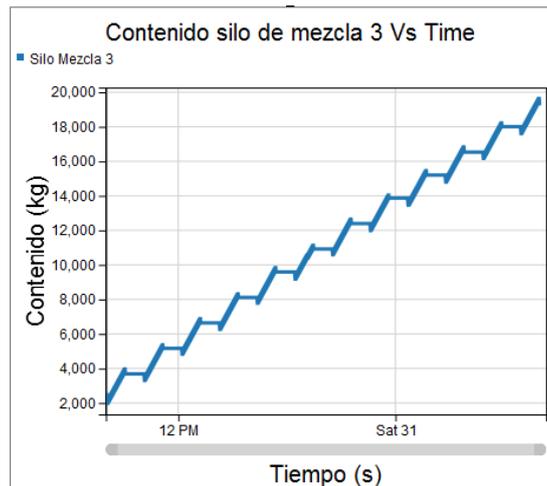


Figura 93. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 3, caso de estudio 3

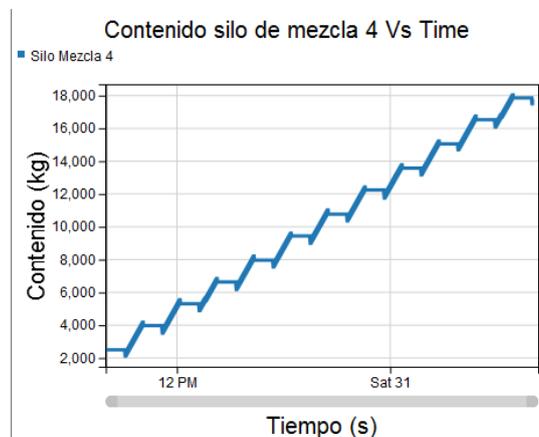


Figura 94. Gráfica contenido vs tiempo silo de mezcla 4, caso de estudio 3

De la misma forma que en el primer caso, se observan intervalos de tiempo en el que la gráfica muestra pendiente nula, siendo dichos intervalos (correspondiente a las paradas de recarga realizadas) los momentos que SIMAL debe aprovechar para realizar las labores de mantenimiento.

Como el aumento de contenido en los silos de mezcla al finalizar la jornada laboral es mayor, alrededor de 5.000 kg por silo en comparación con el caso 2, para que los silos no acaben saturándose, se puede contemplar realizar una parada al día (de un intervalo de tiempo largo) en las básculas de pesaje y en las roscas, con el objetivo de revisar su estado y ejercer labores de mantenimiento.

En este último caso, el porcentaje de tiempo dedicado a paradas en las básculas de pesaje viene definido por la expresión 8:

$$\begin{aligned} \% \text{ Tiempo no se recarga caso 3} &= \frac{T \text{ parada (s)}}{T \text{ parada (s)} + T \text{ recarga (s)}} = \\ &= \frac{150 \text{ (s)}}{150 \text{ (s)} + 1.800 \text{ (s)} + 1.800 \text{ (s)}} \cdot 100 = 4 \% \end{aligned}$$

(8)

7.6 Conclusiones

Con los tres casos se ha observado que existen posibles mejoras en la línea en la zona de los hornos y en los silos de mezcla.

Caso 1

La realización de las mejoras del primer caos, implicarían en SIMAL la instalación de dos nuevas conexiones que unan los silos de mezcla, con los hornos que actualmente no están conectados.

Con la mejora de realizar la recarga a los hornos conjuntamente desde un mismo silo de mezcla, se consigue reducir a la mitad el tiempo dedicado a las paradas de las básculas, es decir, de un 9,1 % a un 4,55 %. Además, se recargan los silos de mezcla de una forma más rápida, llegando a alcanzar al final del día de trabajo alrededor 12.000 kg más entre los dos silos. Esto permite realizar una parada en la recarga de los silos al finalizar la jornada laboral para revisión y mantenimiento de los elementos de la línea antesores al silo de mezcla. Para determinar el tiempo de duración de la parada, se calcula el número de paradas que se ahorra tener que realizar con la propuesta de mejora, y de este modo, se puede determinar mediante la suma de los tiempos de esas paradas ahorradas, el tiempo que se puede dedicar al mantenimiento de los primeros elementos de la línea.

$$\text{Paradas versión original} = \frac{T \text{ simulación}}{T \text{ un ciclo}} = \frac{86.400 (s)}{1.200+150+1.800+150 (s)} \cdot 2 = 52,4 \text{ paradas}^9$$

(9)

$$\text{Paradas caso 1} = \frac{T \text{ simulación}}{T \text{ un ciclo}} = \frac{86.400 (s)}{3.300 (s)} = 26,18 \text{ paradas} \quad (10)$$

$$\text{Diferencia paradas} = 53,26 - 26,18 = 26,18 \text{ paradas no realizadas} \quad (11)$$

$$\text{Duración parada mantenimiento} = 26,18 \cdot 150 = 3.927 (s) = 65,45 \text{ minutos} \quad (12)$$

En cuanto al objetivo principal del primer caos, conseguir aumentar el tiempo para el mantenimiento de los silos de mezcla, se consigue aumentar los márgenes de tiempo de 20 a 50 minutos para el horno 4 y de 30 a 50 minutos para el horno 3.

Caso 2

La realización de la mejora propuesta en el segundo caso, implica la aplicación de mejoras técnicas sobre el horno 3, o la instalación de un nuevo horno con las propiedades del horno 4.

Con la mejora de las características del horno 3, se observa que se consigue incrementar un 19% la producción. Esto se debe a que al ser el cuello de botella de la línea, mejorando su tiempo de ciclo, se consigue mejorar la productividad de la línea. No obstante, para que se llegue a producir en el horno 3 la misma cantidad de

⁹ Se considera ciclo a la suma de la recarga realizada sobre el silo de mezcla 3, su correspondiente parada, la recarga del silo de mezcla 4 y su correspondiente parada. Por otro lado, en la expresión 9, se multiplica por dos debido a que un ciclo contiene dos paradas en las básculas de pesaje.

composiciones que en el horno 4, se debe de tener en cuenta la capacidad productiva de las básculas de pesaje. Por ello, se ajustan estas en el segundo caso de estudio adecuándolas a las necesidades del nuevo horno simulado, disminuyendo el tiempo para el pesaje de las básculas, de 44 a 38,32 segundos.

Por otro lado, el contenido final de los silos de mezcla aumenta respecto al caso original, ya que se aumenta el caudal que atraviesan los silos, y a que disminuye el porcentaje dedicado a las paradas en las básculas de pesaje, disminuyendo del 9,1 a 7,69 %. Esto permite al igual que en el caso uno, dedicar al final de la jornada laboral un tiempo de descanso a los elementos antecesores a los silos de mezcla. Para el cálculo utilizamos la expresión 9 pero adaptada al caso 2.

$$\text{Paradas caso 2} = \frac{T \text{ simulación}}{T \text{ realizar un parada}} = \frac{86.400 (s)}{1.800+150 (s)} = 44,31 \text{ paradas} \quad (13)$$

Diferencia paradas = 52,36 – 44,31 = 8,05 paradas no realizadas

Duración parada mantenimiento = 8,05 · 150 = 1.207 (s) = 20,12 minutos

Caso 3

El presente caso implicaría la realización de ambas mejoras citadas en los casos anteriores.

Este último caso presenta las ventajas combinadas de las dos anteriores mejoras. En primer lugar, mantiene el aumento de la producción en un 19%.

Por otro lado, el contenido final aumenta en los silos de mezcla, puesto que aumenta el caudal que pasa por los silos de mezcla (respecto la versión original), y a que se reducen el número de paradas. El contenido final de los silos de mezcla es de alrededor de 17.000 kg más que la versión actual de la empresa.

El porcentaje dedicado a las paradas disminuye de un 9,1 a un 4%. Es por ello, que se trata del caso en el que menos paradas se realizan, y en el que da mayor margen de tiempo para realizar una parada de mantenimiento en los primeros elementos de la línea de producción.

$$\text{Paradas caso 3} = \frac{T \text{ simulación}}{T \text{ realizar una parada}} = \frac{86.400 (s)}{1.800+1.800+ 150 (s)} = 23,04 \text{ paradas}$$

Diferencia paradas = 52,36 – 23,04 = 29,32 paradas no realizadas

Duración parada mantenimiento = 29,32 · 150 = 4.398(s) = 73,3 minutos

Finalmente, el caso combinado, presenta la misma ventaja que el primer caso de aumentar el tiempo dedicado al mantenimiento de los silos de mezcla, de 20 a 50 minutos en el silo 4 y de 30 a 50 minutos en el silo de mezcla 3.

8. DIAGRAMA GANTT

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	▾ Aspectos herramienta Flexsim	25 días	jue 2/1/18	mié 3/7/18	
2	Compra de software	1 día	jue 2/1/18	jue 2/1/18	
3	Búsqueda de manuales	3 días	vie 2/2/18	mar 2/6/18	2
4	Estudio de la herramienta Flexsim	21 días	mié 2/7/18	mié 3/7/18	3
5	▾ Visitas SIMAL	35 días	jue 3/1/18	mié 4/18/18	
6	1ª Visita SIMAL	1 día	jue 3/1/18	jue 3/1/18	
7	Elaboración de la hoja de datos necesarios	4 días	vie 3/2/18	mié 3/7/18	6
8	2ª Visita SIMAL	1 día	jue 3/8/18	jue 3/8/18	4,7
9	3ª Visita SIMAL	1 día	mié 4/4/18	mié 4/4/18	11
10	4ª Visita SIMAL	1 día	mié 4/18/18	mié 4/18/18	
11	Profundización del manejo de Flexsim	18 días	vie 3/9/18	mar 4/3/18	8
12	▾ Desarrollo del análisis	77 días	jue 4/5/18	vie 7/20/18	
13	Construcción de la simulación de la línea	28 días	jue 4/5/18	lun 5/14/18	9
14	Análisis simulación	7 días	mar 5/15/18	mié 5/23/18	13
15	Simulación de las alternativas de mejora	4 días	jue 5/24/18	mar 5/29/18	14
16	Análisis de beneficios conseguidos	2 días	mié 5/30/18	jue 5/31/18	15
17	Conclusiones	2 días	vie 6/1/18	lun 6/4/18	16
18	Redacción del trabajo	22 días	mar 6/5/18	mié 7/4/18	17
19	Presupuesto	3 días	jue 7/5/18	lun 7/9/18	18
20	Revisión del trabajo	9 días	mar 7/10/18	vie 7/20/18	19

Tabla 11. Descripción de tareas

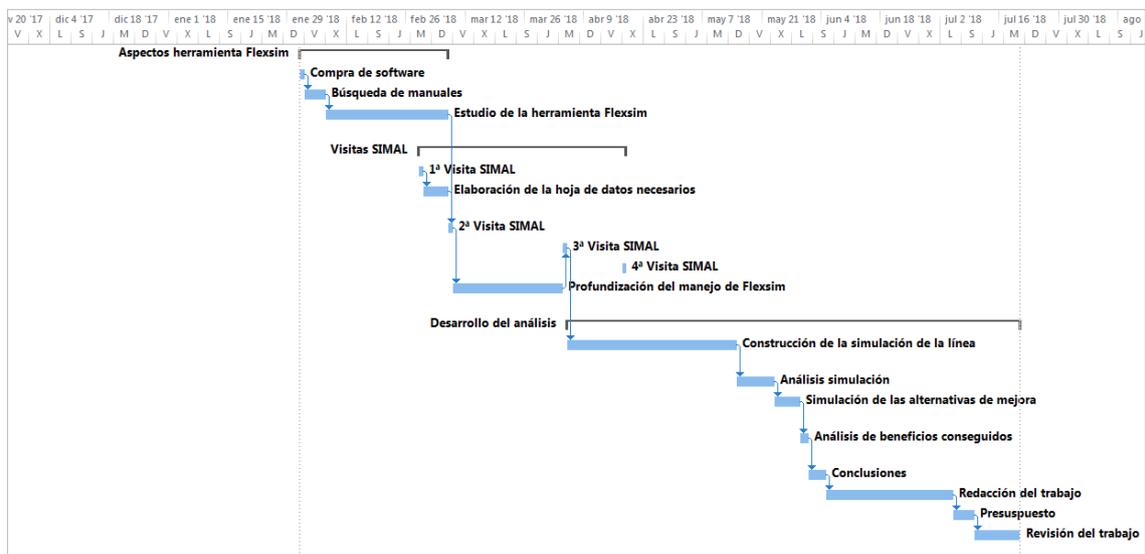


Figura 95. Diagrama de Gantt

9. DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO

A continuación, se refleja el presupuesto del TFG “Análisis y mejora de la línea de producción de Silicatos de Malpica mediante Flexsim” desglosado por las diferentes subpartidas que lo componen

PERSONAL

En los costes asociados al personal se reflejan los gastos relacionados con los sueldos de los partícipes del proyecto.

Personal involucrado con el proyecto

-Javier Loglio: Estudiante elaborador del TFG

-Tutor TFG: Profesor de la UPV encargado de guiar y ayudar en la elaboración del TFG

-Codirector TFG: Profesor de la UPV encargado de guiar y ayudar en la elaboración del TFG

-Empleado SIMAL: Trabajador de la empresa SIMAL, encargado de mostrar la línea de producción y explicar los detalles de los que se precisa para la elaboración del análisis.

En la tabla 12, se clasifica el personal involucrado en el proyecto, asociándolos a su categoría profesional y reflejando el coste horario, las horas empleadas y el coste que supone cada uno de ellos en el proyecto.

NOMBRE	CATEGORÍA	COSTE HORARIO (€/h)	HORAS EMPLEADAS (h)	COSTE TOTAL (€)
Javier Loglio	Estudiante ingeniería	10	300	3.000
Tutor TFG	Ingeniero superior	35	20	700
Codirector TFG	Ingeniero superior	35	10	350
Empleado SIMAL	Ingeniero superior	40	10	400
TOTAL				4.450 €

Tabla 12. Coste del personal

AMORTIZACIÓN

En este apartado, se calcula el coste asociado a la depreciación del valor de los equipos y licencias debido a su uso en el proyecto. Para el proyecto se utiliza un ordenador y la licencia del software de simulación Flexsim. En la tabla 13 se detallan el coste de adquisición de ambos elementos, la vida útil, la duración de su uso y el correspondiente gasto de amortización.

INVERSIÓN	PRECIO ADQUISICIÓN (€)	VIDA ÚTIL	USO EN EL PROYECTO	AMORTIZACIÓN (€)
Odenador	500	7 años	6 meses	35,71
Licencia Flexsim	14	6 meses	6 meses	14
TOTAL				49,71

Tabla 13. Amortización

GASTOS

En la subpartida “gastos” se reflejan los costes asociados al transporte y a los materiales necesarios.

Como costes de materiales se necesitan fotocopias y material de oficina.

Por otra parte, durante la realización del proyecto, se realizan cuatro visitas a la empresa, lo que implica una movilización por parte del alumno realizador del TFG hasta SIMAL. Cada viaje supone un gasto de 2 €. De este modo, cada visita a SIMAL implica un coste de 4 euros.

En la tabla 14 se reflejan los costes relacionados con la subpartida “gastos”, indicando el coste de cada uno de los conceptos mencionados.

CONCEPTO	COSTE (€)
Fotocopias	10
Material de oficina	10
Transporte	16
TOTAL	36

Tabla 14. Gastos

PRESUPUESTO DEL TRABAJO

Finalmente, se recopila cada subpartida en la tabla 15, conformando el presupuesto final del proyecto, y haciendo un total de 4.535,71 €.

CONCEPTO	COSTE TOTAL (€)
Personal	4.450
Amortización	49,71
Gastos	36
TOTAL	4.535,71

Tabla 15. Presupuesto

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Significados, General, Globalización [citado en junio 2018] Disponible en World Wide Web: <https://www.significados.com/globalizacion/>
- [2] IQE, Historia [citado en junio 2018] Disponible en World Wide Web: <https://www.iqe.es/el-grupo-iqe>
- [3] IQE, El grupo IQE [citado en junio 2018]. Disponible en World Wide Web: <https://www.iqe.es/el-grupo-iqe>
- [4] IQE, Productos, Silicato potásico [citado en junio 2018]. Disponible en World Wide Web: <https://www.iqe.es/el-grupo-iqe>
- [5] Simulación de procesos industriales, Historia de la simulación [21 de febrero de 2011, por Ana Karina Montero Avedaño]. Disponible en World Wide Web: <https://simulaciondeprocesosempresariales9.wordpress.com/category/a-historia-de-la-simulacion/>
- [6] Monografías, Computación, Programación, Simulación de sistemas [29 de marzo de 2011]. Disponible en World Wide Web: <http://www.monografias.com/trabajos20/simulacion-sistemas/simulacion-sistemas.shtml>
- [7] UPNA, Área de ingeniería telemática, Simulación de eventos discretos [citado en junio 2018]. Disponible en World Wide Web: http://www.tlm.unavarra.es/research/seminars/slides/20070727_dmorato_simulacionyomnetpp.pdf
- [8] Softwares de simulación, Softwares utilizados para la simulación de sistemas [20 de febrero de 2014].- Disponible en World Wide Web: <http://softwaresdesimulacion.blogspot.com/2014/02/softwares-de-simulacion.html#!/2014/02/softwares-de-simulacion.html>
- [9] User Manual version 17.0.0, FlexSim, 2016.
- [10] Isaías Simón Marmolejo, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, *“Un primer paso a la simulación con Flexsim”*.
- [11] TFG de Jinghan Wang, *“Manual práctico: Simulación de procesos industriales mediante Flexsim”*.