

Universidad
de La Laguna

TRABAJO DE FIN DE GRADO
MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA
LAVANDERÍA INDUSTRIAL PARA
ENTORNOS HOSPITALARIOS

Titulación: Grado de Ingeniería Electrónica
Industrial y Automática

Autor: Daniel Sarabia Viera

Tutores: Iván Castilla Rodríguez

Juan Albino Méndez Pérez

Junio 2017

1. ÍNDICE

2.	Memoria Descriptiva	3
2.1	Introducción	3
2.2	Aspectos generales del proyecto	5
2.2.1	Objeto	5
2.2.2	Alcance	5
2.2.3	Antecedentes	5
2.2.4	Peticionario	6
2.2.5	Emplazamiento	6
2.3	Descripción del Proceso de la Actividad	7
2.3.1	Circuito General	7
2.3.2	Sistema Centro De Uso	8
2.3.3	Subsistema Lavado-Secado	9
2.4	Modelado y Simulación de Eventos Discretos	10
2.4.1	¿Cuándo usar la simulación?	10
2.5	Software Específico	11
3.	Memoria Justificativa	12
3.1	Modelo Conceptual	12
3.2	Desarrollo del Modelo en Arena	13
3.2.1	Restricciones de Implementación	13
3.2.2	Descripción de las Entradas de las Líneas de Lavado	15
3.2.3	Descripción de las Líneas de Lavado	18
3.2.4	Descripción de la Deshidratación y las Esperas	19
3.2.5	Descripción del Sistema de Distribución	23
3.2.6	Descripción de las Secadoras y la Salida	29
3.2.7	Resumen Datos Utilizados	30
3.3	Métodos de Obtención de Resultados	31
3.3.1	Reports	31
3.3.2	Visual Basic Editor	31
3.4	Verificación del Modelo	32
3.5	Validación del Modelo	32
3.5.1	Primera Tarea de Validación	33
3.5.2	Segunda Tarea de Validación	36
3.5.3	Conclusiones de las Validaciones	40
3.5.4	Posibles Mejoras	40

4. Conclusión	42
5. Bibliografía	43
6. Anexo: Diseño del Flujograma	44
6.1.1 Vista Global del Diseño	44
6.1.2 Línea de Lavado 1	44
6.1.3 Línea de Lavado 2	45
6.1.4 Deshidratación y Esperas	45
6.1.5 Distribución	46
6.1.6 Secadoras y Salida	46
7. Anexo: Sistemas lavandería	47
7.1.1 Sistema Lavandería	47
7.1.2 Subsistema Almacén Ropa Sucia	48
7.1.3 Subsistema Almacén de Ropa Nueva	49
7.1.4 Subsistema Clasificación Sucia	50
7.1.5 Subsistema Almacén Clasificado	51
8. Anexo: Módulos Software Arena	52
8.1.1 Módulos básicos de flujo	52
8.1.2 Módulos de datos	53
9. Anexo: Código de Visual Basic	54
10. Anexo: Report Primera Validación	55
11. Anexo: Tablas Primera Validación	67
12. Anexo: Caso 1 Segunda Validación	69
13. Anexo: Caso 2 Segunda Validación	71
14. Anexo: Caso 3 Segunda Validación	73

2. MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1 Introducción

En el presente proyecto se realizará un estudio simulado de la Lavandería Hospitalaria responsable del lavado, planchado y secado de los dos hospitales principales de la isla de Tenerife, el Hospital Universitario de Canarias y el Hospital Universitario Nuestra Señora de Candelaria.

Para estos hospitales es de vital importancia que la lavandería cubra sus necesidades diarias para mantener sus condiciones de salud e higiene, y debido a las dimensiones de las demandas y del sistema, un imprevisto como puede ser una avería puede tener grandes repercusiones.

Entre otras ventajas, la simulación permite estudiar esos cambios en el modelo y observar los efectos en su comportamiento para crear medidas preventivas que disminuyan las consecuencias o para crear estrategias que mejoren la eficiencia del sistema.

En este documento nos centraremos en el sistema de lavado y secado de dicha lavandería para el cual crearemos un modelo conceptual, una simulación utilizando el software Rockwell Arena, y una validación de la simulación.

2.1.1 Introduction

In this project, we make a simulation study of one hospital laundry, responsible for the washing, ironing and drying of the two main hospitals on the island of Tenerife, the University Hospital of the Canary Islands, and the University Hospital Nuestra Señora de Candelaria.

It is very important that the laundry meets the daily needs to maintain the health and hygiene conditions for these hospitals, and due to the size of the demands from the system, any trouble in the process can have big repercussions.

Among other advantages, the simulation allows to study these changes in the model and observe the effects in its reactions to create preventive answers that decrease the consequences, or to create strategies that improve the efficiency of the system.

In this document, we focus on the laundry and drying system and create for that a conceptual model, a simulation using Rockwell Arena software, and a validation of the simulation.

2.2 Aspectos generales del proyecto

2.2.1 Objeto

El objeto del presente proyecto es análisis, simulación, validación y justificación del proceso de lavado y secado de una Lavandería Hospitalaria, utilizando para ello el software de Rockwell Arena.

2.2.2 Alcance

El estudio se realizará a la lavandería del Hospital Universitario de Canarias, pero de entre todo el proceso que compone su actividad nos centraremos en el estudio y simulación del subsistema de Lavado y Secado definido en el apartado Descripción del proceso de la Actividad, y solo para las prendas del grupo Hospitalario.

2.2.3 Antecedentes

La lavandería es un sistema crítico del hospital que debe funcionar a pleno rendimiento para satisfacer sus requerimientos y está sujeto a multitud de situaciones inesperadas que impiden hacer una planificación precisa con mucha antelación.

A través de un estudio de simulación se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observar los efectos en su comportamiento.

Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema, e incluso experimentar con nuevas situaciones sobre las cuales tiene poca o ninguna información.

2.2.4 Peticionario

Los peticionarios del presente proyecto son los profesores Juan Alvino Mendez Perez y Iván Castilla Rodríguez, con teléfono 922316502 y con dirección en Edificio Garoé primera planta, Av. Astrofísico Francisco Sánchez SN, C.P. 38200 en La Laguna, provincia de Santa Cruz de Tenerife.

Actuaran en representación de La Universidad de La Laguna, y que ordena la elaboración del presente documento.

2.2.5 Emplazamiento

La nave de la lavandería se encuentra en Santa Cruz de Tenerife en las proximidades del Hospital Universitario de Canarias como se muestra en el recuadro de la siguiente Imagen 1:

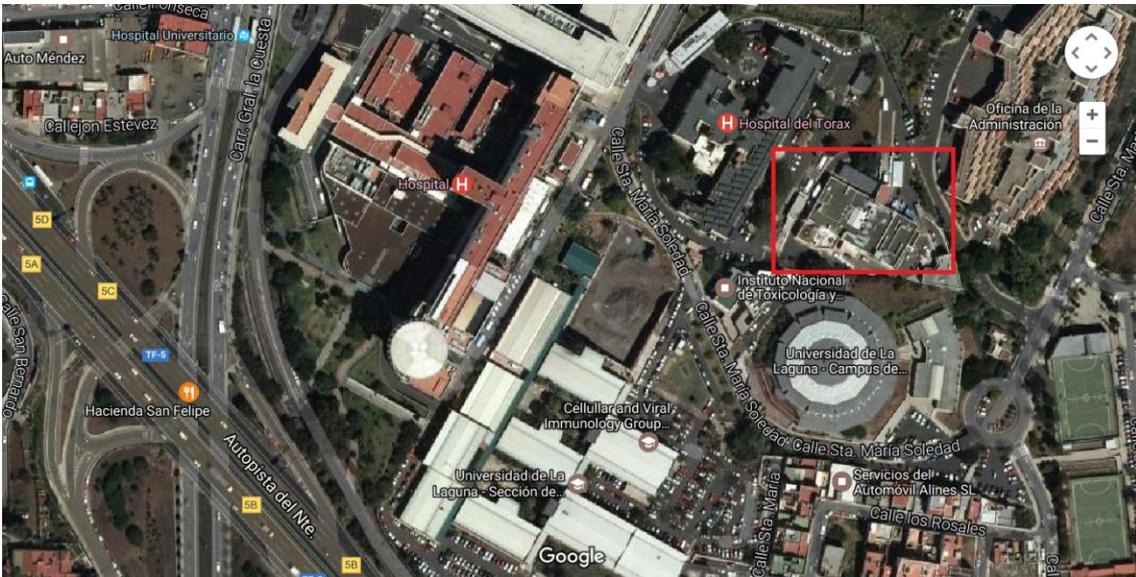


Imagen 1 – Localización obtenida en Google Maps.

2.3.2 Sistema Centro De Uso

El sistema Centro de Uso básicamente define el centro hospitalario. Este sistema lo dividimos en dos subsistemas, uno de consumo donde se utiliza la ropa procedente de la lavandería y otro de transporte de ropa sucia enviada a la lavandería.

Para el subsistema de consumo es necesario clasificar y separar las prendas según su grupo y tipo antes de enviarlas. En cambio, el subsistema de transporte de ropa sucia tiene la función de concentrar y transportar, en base a criterios logísticos, la ropa sucia en varios grupos (GTS) con diferentes necesidades de tratamiento en el sistema de Lavandería (SLV).

1. Hospitalización (THP)
2. Infeccioso (TIN)
3. Quirófanos (TQU)
4. Uniformes Quirófanos (TUQ)
5. Uniformes Hospitalización (TUH)

Pero dentro de esos subsistemas, la ropa sucia no llega al SLV separada por tipos de prendas. Para nuestro estudio nos centraremos en las prendas del subsistema Hospitalización (THP) del cual llegan prendas de los tipos:

1. Sábanas Blancas
2. Colchas
3. Toallas
4. Metidas
5. Mantas
6. Pijamas

2.3.3 Subsistema Lavado-Secado

Este es el subsistema de principal interés para nuestro estudio y se encuentra dentro del sistema lavandería, el resto de subsistemas están descritos en el Anexo: Sistemas Lavandería.

En este subsistema Lavado-Secado (LLS), cada elemento (carga de ropa de peso constante 50Kg y del mismo tipo de prenda) que entra tanto por la línea de Lavado 1 o de la línea de Lavado 2, tendrá que pasar por cada una de las unidades de tratamiento que tienen los mismos, de manera que les someta a los programas de lavado y desinfección que están establecidos según el artículo al que pertenezca el elemento.

La transferencia de una unidad a otra en ambas líneas de lavado, está condicionada tanto por el tiempo de operación de los procesos como por el ritmo de salidas de las secadoras.

A la salida de los elementos de los sistemas de lavado, en los dos casos, pasarán por un subsistema de deshidratación, en los que se retienen durante el periodo de operación como mínimo, pudiendo el tiempo de espera ser más largo en función de las colas generadas en el sistema de distribución. Dichas colas tienen mayor capacidad de espera para los elementos que proceden de LD2, con dos unidades de espera E2_01 y E2_02.

Tras superar la espera, el subsistema de distribución deshidratada (LHD) se encargará de enviar el elemento, al subsistema de secado que corresponda según el criterio que se establezca.

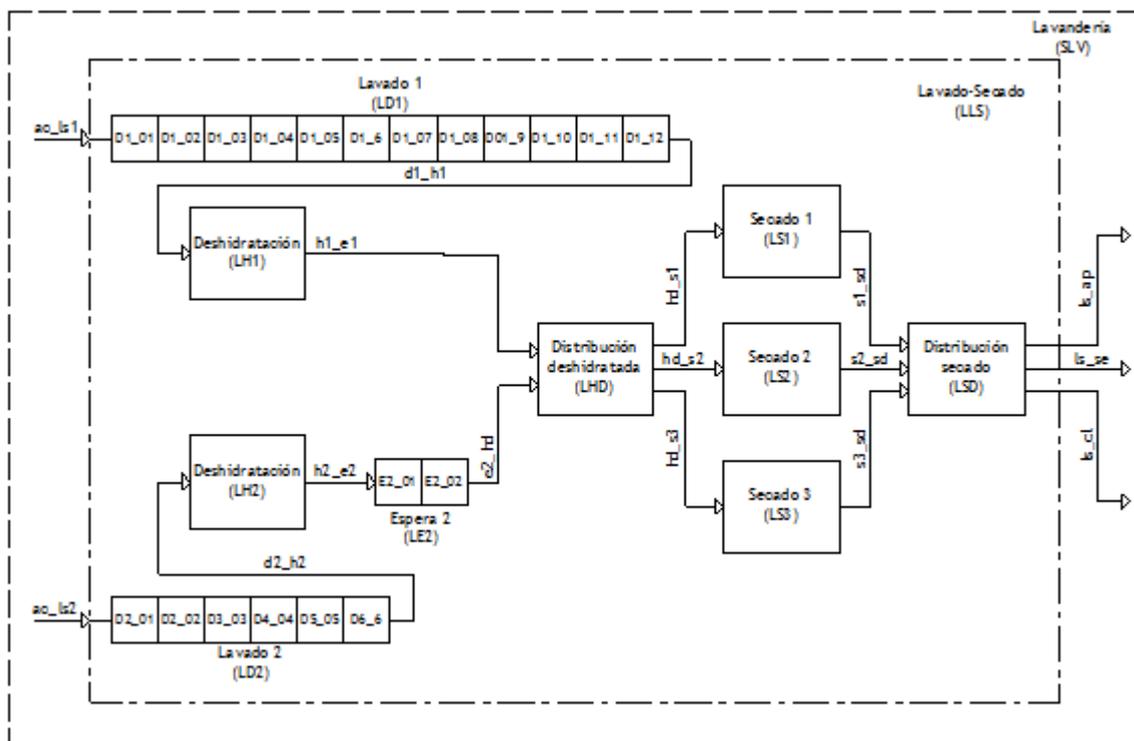


Figura 2 – Subsistema Lavado-Secado, Fuente: Germán C. González. Responsable de la lavandería hospitalaria.

2.4 Modelado y Simulación de Eventos Discretos

Un modelo es la representación simplificada de un sistema real creado por un analista para describir, con la mayor precisión posible, el funcionamiento real del proceso. Así cuando se plantean situaciones hipotéticas se puede entender el funcionamiento y la respuesta del sistema que representa.

La simulación de eventos discretos, es una herramienta de análisis que se ha difundido rápidamente en el ambiente empresarial debido a su utilidad para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la planeación de la producción, los inventarios, el diseño de los sistemas de producción y sus cadenas de suministro.

2.4.1 ¿Cuándo usar la simulación?

La simulación es una herramienta muy versátil y potente, pero existen varios indicadores para determinar en qué casos es más útil la simulación o experimentar directamente en el terreno.

Para un modelo de una Lavandería Hospitalaria como es nuestro caso la simulación nos permite realizar un estudio sin disponer de la gran cantidad de maquinaria que se necesita para el modelo real. De hecho, gracias a la simulación podremos adaptar las cantidades, el uso y distribución de las mismas según las exigencias que tengamos previstas.

Por otro lado, en una simulación podremos realizar muchísimas pruebas diferentes con cientos de réplicas para obtener unos valores fiables de producción, mientras que realizar estas comprobaciones en el sistema real conlleva un coste de uso y de materias primas, además del tiempo necesario para llevar a cabo todas esas pruebas, en especial aquellas pruebas cuyo efecto solo se verá a largo plazo.

En una lavandería de este tamaño, para realizar todas esas réplicas, se perdería mucho tiempo de producción y conllevaría un coste elevado de agua, electricidad, jabones y operarios, además, una vez hechas estas pruebas es más fácil comparar los resultados de dos intervenciones diferentes en una simulación.

Pese a las ventajas que nos aportaría la simulación en este caso, no debemos perder de vista que es necesario disponer de los suficientes datos además de poder verificar y validar el modelo, o la información resultante de la simulación no será concluyente.

2.5 Software Específico

La herramienta utilizada para realizar la simulación de nuestro modelo simulado será el software Arena. Es una de las herramientas más utilizada para la simulación de sistemas de eventos discretos gracias a su gran versatilidad, facilidad de uso, flexibilidad y capacidad de modelado que se requiere para representar cualquier proceso de una empresa.

En el software Arena se basa en SIMAN, un lenguaje potente que evita escribir líneas de códigos ya que el modelado es un proceso gráfico y visual integrado, esto facilita su comprensión para el autor como para cualquiera que interactúe con el modelo.

La versión de Arena que vamos a utilizar para este proyecto es la versión 14.

Hay dos tipos de módulos en el panel, los módulos para crear el flujograma y los módulos de datos, las descripciones de los mismos se encuentran en el Anexo: Módulos del Software Arena.

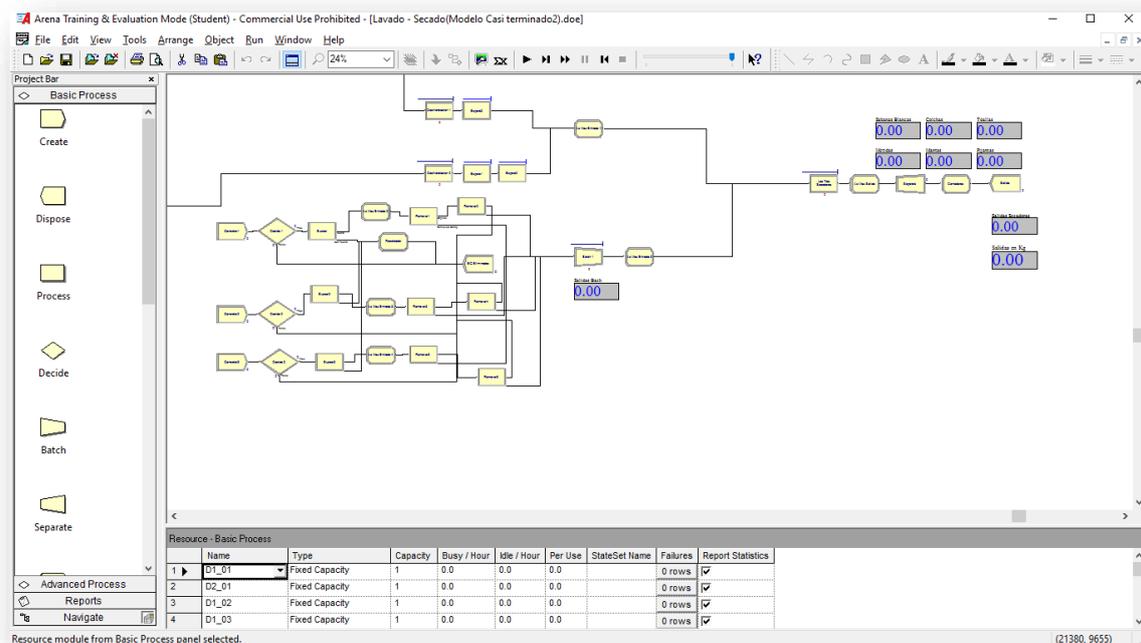


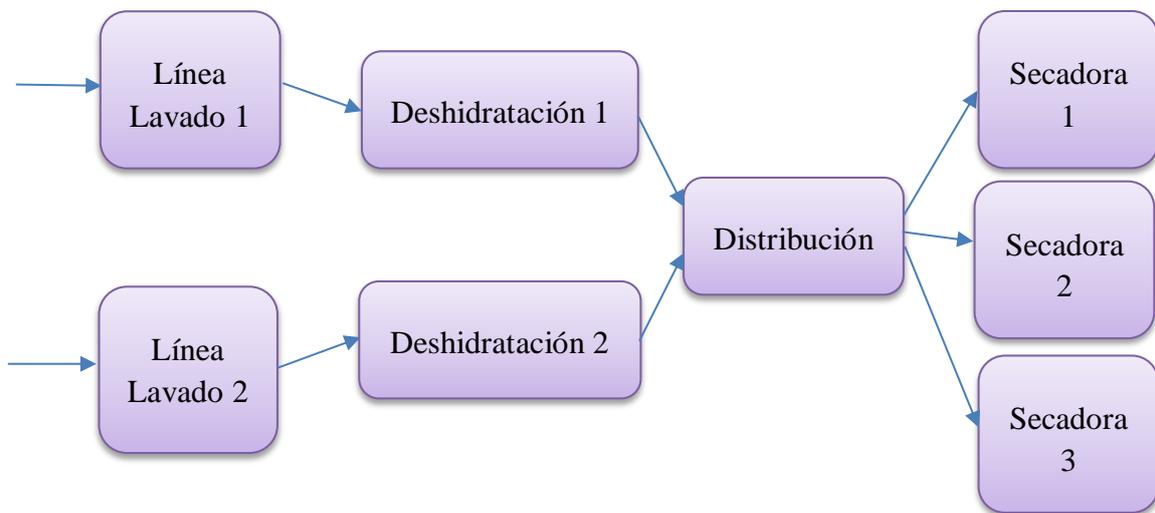
Imagen 2 – Interfaz Usuario del Software Arena

3. MEMORIA JUSTIFICATIVA

3.1 Modelo Conceptual

De entre todo el proceso de la actividad de la Lavandería, la parte que nos interesa para la simulación es el subsistema de Lavado y Secado.

Unas bolsas de 50Kg que provienen del subsistema almacén clasificado se descargan en una de las dos líneas de lavado. Una vez las prendas son sometidas a los programas de lavado previstos pasan a un proceso de deshidratación que se encuentra al final de la línea de Lavado como se muestra en el esquema:



Esquema 1 – Modelo Conceptual Básico.

- La línea de lavado 1 someterá a cada carga de prendas por 12 procesos, cada uno de ellos de 3 minutos de duración. Mientras que la línea 2 se compone de 6 procesos de 5 minutos de duración.
- El programa de deshidratación es una prensa encargada de eliminar la mayor cantidad de agua de las prendas antes de llevarlas a las secadoras para reducir los tiempos de secado drásticamente. Ambos procesos tienen una duración de 3 minutos.
- La estación de distribución se encarga de distribuir las cargas de prendas que estén en las zonas de espera entre las tres secadoras, además, como cada secadora tiene una capacidad de carga de 100Kg, intentará llevar dos cargas de 50Kg del mismo tipo de prenda si es posible antes de su puesta en marcha.

Al finalizar la jornada, ambas líneas quedan cargadas para comenzar el primer turno de la mañana siguiente con salidas desde el primer instante.

Los recursos humanos necesarios para el sistema de distribución estarán implícitos en la simulación. No serán contemplados como variables del sistema debido a la complejidad que conlleva.

Entre los grupos de ropa sucia procedente del centro de uso, utilizaremos en el grupo de Hospitalización para la obtención de datos. De este grupo utilizaremos para la obtención de datos las siguientes prendas:

1. Sábanas Blancas
2. Colchas
3. Toallas
4. Metidas
5. Mantas
6. Pijamas

En el sistema real el grupo de Hospitalización se compone de más tipos de prendas que decidimos no incluirlas en el estudio debido a las complicaciones en el proceso de simulación que implican cambios en los procedimientos de lavado, distribución y secado.

A pesar de que las cargas de ropa salen del mismo con una determinada programación que depende de la saturación del almacén y las exigencias del centro de uso, nosotros generaremos las entradas de cargas a nuestro criterio para probar el modelo y luego introduciremos las cantidades de prendas de diferentes días de producción para validar el modelo.

3.2 Desarrollo del Modelo en Arena

Antes de continuar con la explicación y justificación del diseño, sería conveniente observar el diseño del Anexo: Diseño del Flujoograma para tener una idea global del modelo antes de entrar detalle al funcionamiento del mismo

3.2.1 Restricciones de Implementación

A lo largo de la creación del flujoograma de la actividad surgieron varios problemas para llegar al Modelo final por lo que hicieron falta múltiples modelos de prueba previos para comprender los motivos por los que la simulación no se adaptaba al modelo real.

- Una de las principales limitaciones fue la versión de estudiante de Arena, que solo permite incluir 150 elementos en el modelo entre módulos, variables, atributos, tipos de entidades, etc. En este modelo final utilizo el límite de 150 por lo que cada vez que intentaba incluir una modificación tenía que simplificar el modelo lo máximo posible.

- Otro de los principales problemas se encontraba en la propia estructura del Arena. Cada vez que una entidad entra a un proceso de forma normal esta se pondrá en cola hasta que termine, esto implica que si llegan muchas entidades simultáneamente estas formarán largas colas en los procesos.

Esto es algo que en sistema real no puede ocurrir y funciona de manera distinta, si cualquiera de los procesos del sistema real está ocupado, el proceso anterior se tendrá que quedar parado en espera y no podrá enviar su carga al siguiente hasta que ese termine su proceso.

- La generación de entradas también plantea dificultades ya que el sistema real trabaja bajo demanda y dependiendo del nivel de uso de las líneas o secadoras se envían más cargas de prenda o menos según su programación.

Esto está controlado por el subsistema Almacén clasificado, pero ese subsistema lo hemos excluido de la simulación para el desarrollo de este proyecto. En cambio, el software Arena genera de forma ininterrumpida entidades según unas distribuciones que pueden ser del tipo constante, exponencial, etc.

Tenemos que lograr que las entradas se generen bajo demanda del sistema ya que si generamos entidades a un ritmo lento para no saturarlo corremos el riesgo de trabajar de manera ineficiente, si generamos demasiadas entidades corremos el riesgo de saturar el sistema, y si ponemos algún elemento que las retenga en una cola el software Arena generará un error en simulaciones largas por excedernos del límite de los tamaños de las colas.

- La simulación del sistema real de la Distribución también planteo un desafío ya que este sistema envía a las secadoras las cargas de ropa tanto de forma individual como en conjuntos de 2. Y para recrearlo hay que tener en presente multitud de aspectos:
 - a. Aunque las secadoras tienen una capacidad de 2 cargas no siempre nos interesa enviarlas de forma conjunta, si las secadoras están vacías es mejor enviar las cargas de forma individual para hacer trabajar las secadoras lo antes posible y no perder tiempo esperando.
 - b. Para gestionar combinar las cargas, la línea de lavado 1 no posee zonas de espera mientras que la línea 2 posee dos zonas de espera.
 - c. Las cargas que lleven más tiempo esperando tendrán prioridad para salir.
 - d. Las cargas conjuntas que deben ser del mismo tipo de prenda entre las 6 con las que trabajamos.
 - e. Si las secadoras están llenas hay que unir a ser posible dos cargas por su tipo para la próxima secadora. Si no hay ninguna combinación posible cuando se libere una secadora hay que enviar una única carga para que el sistema siga trabajado.

3.2.2 Descripción de las Entradas de las Líneas de Lavado

En las siguientes Figuras (8 y 9) se muestra el comienzo del diseño del flujograma de las dos líneas de lavado.

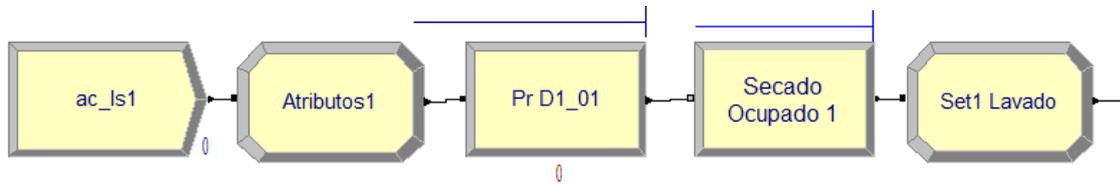


Figura 3 – Comienzo Línea de Lavado 1.

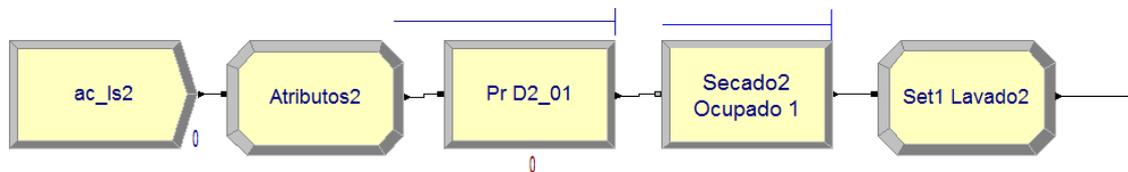


Figura 4 – Comienzo Línea de Lavado 2.

3.2.2.1 Generación de Entidades

Los módulos Create [ac_ls1] y [ac_ls2] representan las entradas que provienen del almacén, y ambos módulos generan los mismos tipos de entidades.

Figura 5 – Propiedades del Módulo Create ac_ls2.

Fue necesario el uso de dos `create` para controlar el envío de entidades a cada línea según el uso de las mismas evitando saturar el sistema. Esto se debe a que el software Arena genera de forma ininterrumpida entidades, y si intentamos retenerlas en un módulo, en simulaciones largas el software emitirá un error al superar el límite del tamaño de una cola. Por otro lado, si generamos pocas entidades corremos el riesgo de tener un bajo rendimiento.

Para gestionar ese control de envíos de entidades utilice la variable *Lavado1* y *Lavado2* para su correspondiente línea de lavado. Ambas variables comienzan en 1 en el arranque del sistema. Cuando una entidad pasa por el módulo [Atributos2], la variable *Lavado2* cambia de valor a 0, esto evita que se envíen más entidades a esa línea de lavado debido a la expresión definida en el módulo Create:

$$\text{as_ls2 (Entities per Arrival):} \quad 1 * \text{Lavado2} * (\text{TNOW} < 7)$$

Se enviará solo una entidad mientras la variable *Lavado2* tenga el valor 1 y el tiempo de simulación sea menor que las 7 horas de una jornada de trabajo diarias.

La variable *Lavado2* volverá a tomar el valor 1 cuando la primera fase del proceso de lavado [Pr D2_01] termine y la carga pase por el módulo Assign [Set1 Lavado2] lo que dejará paso a otra carga de prendas.

Con el uso de estas variables logramos que el envío de cargas de prenda de forma controlada cuando el sistema lo requiera tanto si está saturado como si está sin uso.

Todo esto funciona de manera equivalente en la línea de lavado 1.

3.2.2.2 Descripción de los atributos

Los módulos Assign [Atributos1] y [Atributos2], además de controlar la variable *Lavado1* y *Lavado2* respectivamente asignan a cada entidad entrante dos atributos, el atributo *Tipo* y el atributo *Tiempo*.

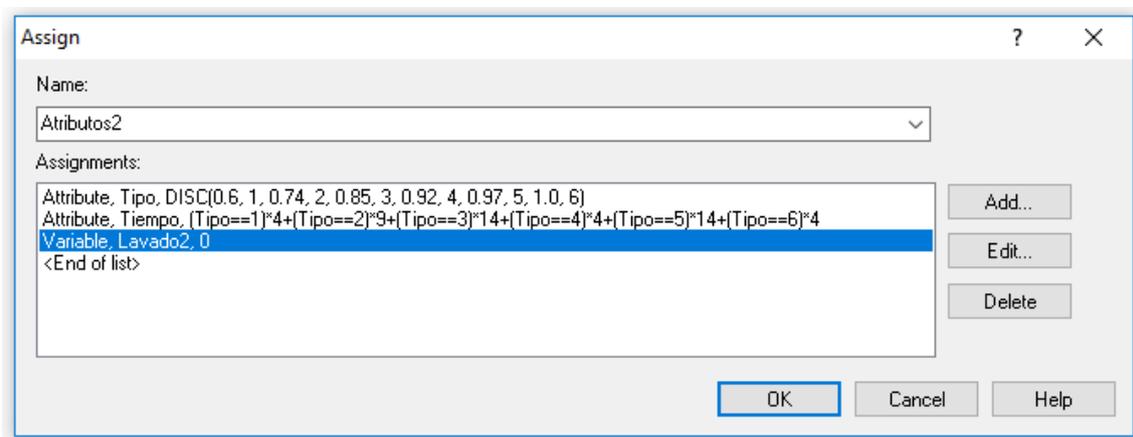


Figura 11 – Propiedades del Módulo Assign Atributos2.

El atributo *Tipo* asigna a cada entidad entrante el tipo de prenda al que pertenece entre las seis que se componen las del grupo Hospitalario, para ello utilizamos una distribución discreta que asigna un valor según su probabilidad. Para la distribución el valor de la probabilidad tendrá que ser acumulada, es decir su valor más el anterior.

Valor Asignado	Tipo de Prenda	Probabilidad Estimada	Probabilidad de acumulada de la distribución
1	Sábanas Blancas	60 %	60 %
2	Colchas	14 %	74 %
3	Toallas	11 %	85 %
4	Metidas	7 %	92 %
5	Mantas	5 %	97 %
6	Pijamas	3 %	100 %

Tabla 1 – Datos del Atributo Tipo.

Luego, cuando se le ha asignado el atributo *Tipo* se le asignará a esa misma entidad el atributo *Tiempo* que dependerá del valor que tome la variable *Tipo* para esa entidad, y viene dado según la siguiente expresión:

$$(Tipo==1)*4+(Tipo==2)*9+(Tipo==3)*14+(Tipo==4)*4+(Tipo==5)*14+(Tipo==6)*4$$

La expresión $Tipo==1$ tomará el valor uno cuando valga exactamente 1, de lo contrario tomará el valor 0 para el resto de los casos. Cada una de esas expresiones está multiplicada por el valor en minutos programado para ese tipo de prenda. Por ejemplo, si entrase una prenda y se le asignase al atributo *Tipo* el valor 5 la expresión quedaría de esta manera:

$$(0)*4+(0)*9+(0)*14+(0)*4+(1)*14+(0)*4$$

Dando como resultado que el atributo *Tiempo* para esa entidad del tipo 5 (Mantas) tiene un tiempo de 14 minutos (las unidades están asignadas en el módulo de las secadoras).

Estos atributos se utilizarán para llevar la cuenta de cada tipo de prenda que sale de la simulación, para establecer en las secadoras los tiempos de secado que requiere cada tipo de prenda y para diversas comprobaciones que realizaremos dentro de nuestro modelo para su funcionamiento.

Anteriormente el diseño de la simulación contaba con un módulo Decide con seis salidas según los porcentajes de los tipos de prendas y un módulo Assign a cada salida para establecer sus atributos. Ese modelo era más intuitivo, visual y se podía modificar los valores con mayor facilidad para realizar pruebas, pero debido a las limitaciones de la versión de estudiante de Arena tuvimos que reducir el número de módulos y variables lo máximo posible.

3.2.3 Descripción de las Líneas de Lavado

La línea de lavado 1 somete a cada carga de ropa procedente del almacén a doce procesos de tres minutos antes de enviarlas al sistema de deshidratación, en cambio la línea de lavado 2 se compone de seis procesos de seis minutos cada uno.

La Figura 12 muestra un ejemplo de las propiedades del módulo [Pr D2_01] que es el primer proceso de la línea 2:

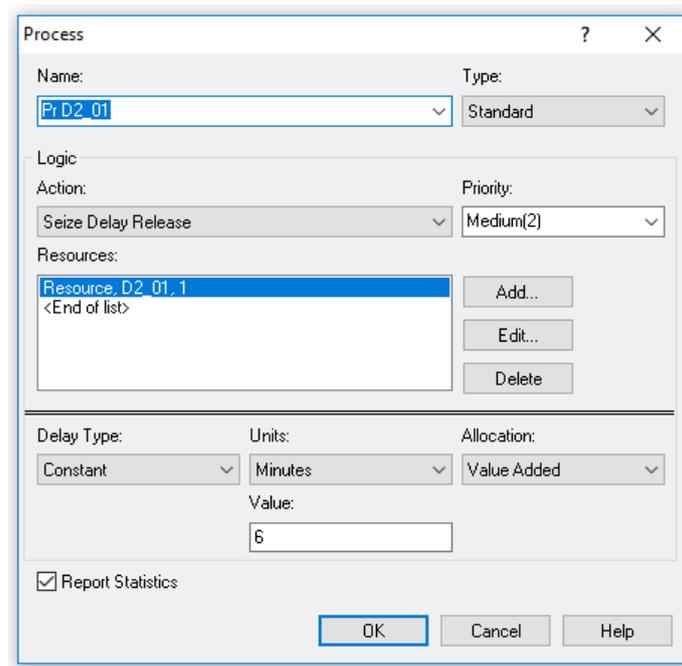


Figura 6 – Propiedades del Módulo Process Pr D2_01.

Uno de los problemas que encontramos al usar la herramienta Arena se encuentra cuando el sistema se satura cuando las tres secadoras están llenas. Cuando ocurre no podemos dejar que se formen colas en ningún punto del proceso y solo disponemos de unas zonas de esperas muy limitadas.

Para corregirlo utilizamos un módulo Hold después de cada proceso de ambas líneas de lavado. La Figura 12 muestra un fragmento de la línea de lavado 2:

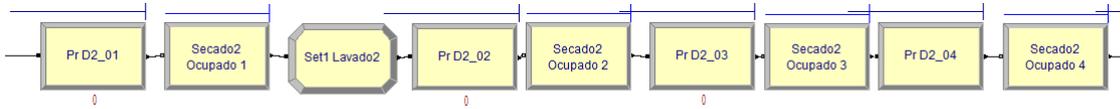


Figura 12 – Fragmento de la Línea de Lavado 2.

En este fragmento de la línea de lavado 2 los módulos [Secado2 Ocupado 1] y sucesivos retienen la carga de prendas, evitando que se envíen a la siguiente fase del proceso si no se comprueba la condición asignada los módulos Hold.

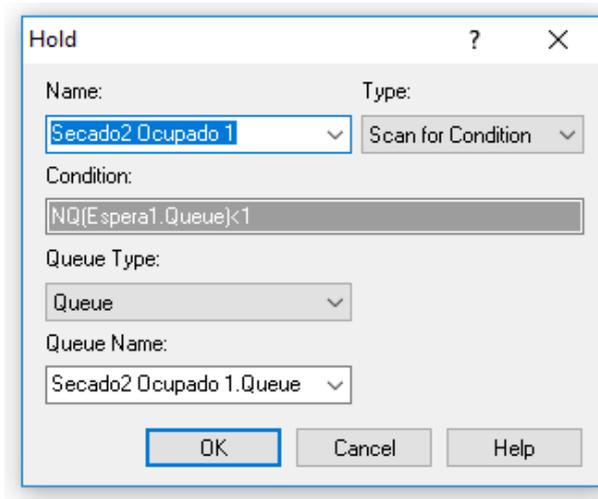


Figura 7 – Propiedades del Módulo Hold Secado2.

Esa condición comprueba que el número de elementos en la [Espera1] sea menor que uno para permitir el paso de la carga de prendas.

3.2.4 Descripción de la Deshidratación y las Esperas

Las cargas de prendas llegan de cada línea de lavado a su correspondiente proceso de deshidratación. Ambos tienen la misma duración de tres minutos y realizan la misma función.

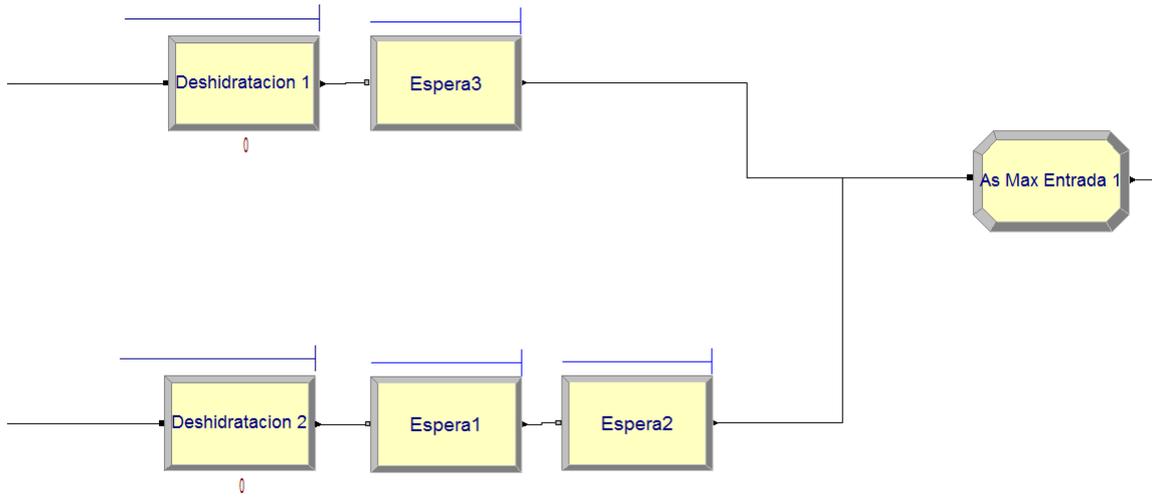


Figura 8 – Procesos de Deshidratación y Esperas.

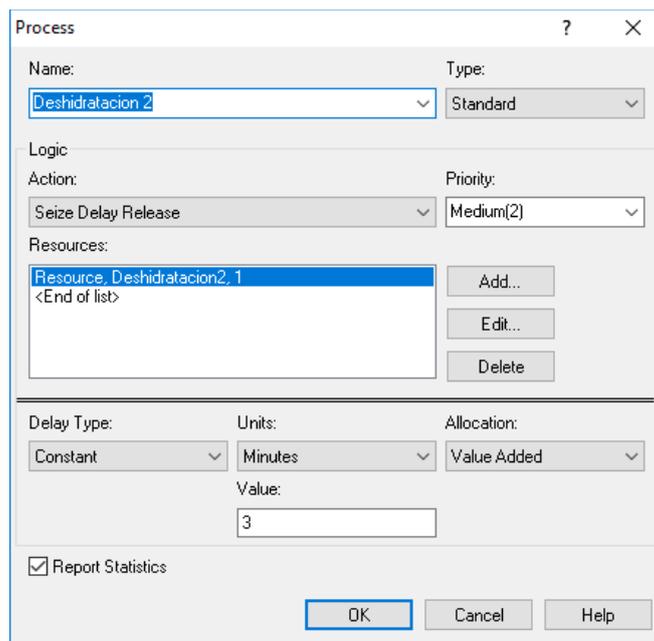


Figura 9 – Propiedades del Módulo Process Deshidratación 2.

Una vez acabado el proceso [Deshidratación 2] se envía la carga de prenda a la zona de [Espera1] que pasará automáticamente a la [Espera2] si está libre. Si el módulo [Espera1] está ocupado no pasará ninguna carga a al proceso de [Deshidratación 2] gracias a los módulos Hold mencionados en el anterior apartado.

El módulo [Espera3] no existe físicamente a diferencia de los otros dos, pero utilizo un módulo Hold para retener la entidad y establecer las condiciones de salida al finalizar el proceso de la [Deshidratación 1] puesto que la estación de distribución permite coger esa carga y enviarla a una secadora o unirla a otra carga.

Es importante mencionar que hasta que la [Espera3] no esté libre, los módulos Hold de la línea de lavado 1 no permitirán que se envíe ninguna entidad a el proceso de [Deshidratación 1] para que en ningún momento en la [Espera3] tengamos más de una entidad.

3.2.4.1 Condiciones de las Esperas

En las siguientes Figuras 15, 16 y 17 se muestran las propiedades de los módulos Hold [Espera1], [Espera2] y [Espera3] respectivamente.

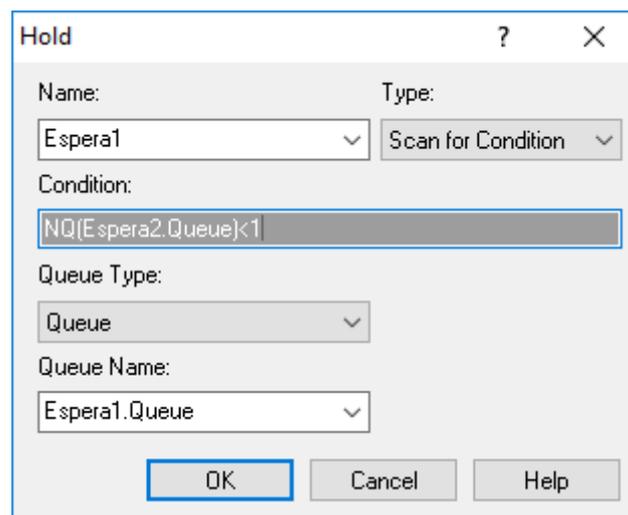


Figura 10 - Propiedades del Módulo Hold Espera1.

La condición para dejar paso a las entidades de este módulo [Espera1] consiste en que el número de entidades del módulo [Espera2] sea menor que uno.

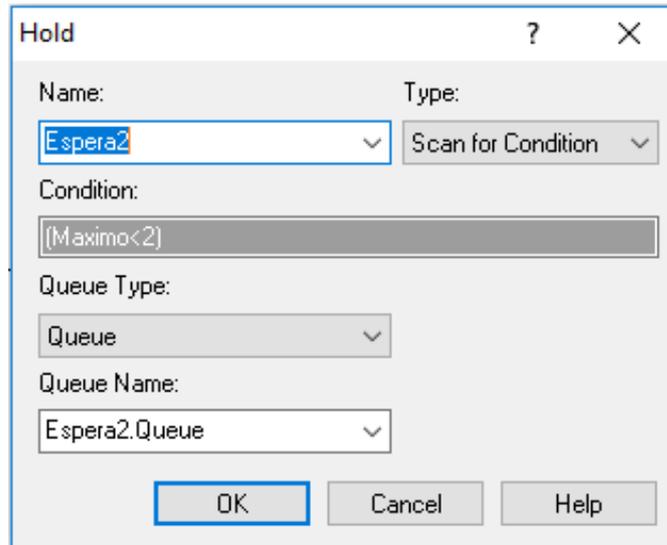


Figura 16 - Propiedades del Módulo Hold Espera2.

La condición para dejar paso a las entidades de este módulo [Espera2] consiste en que el valor actual de la variable *Maximo* sea menor que dos. La utilidad de esta variable la explicaremos más adelante (página 27).

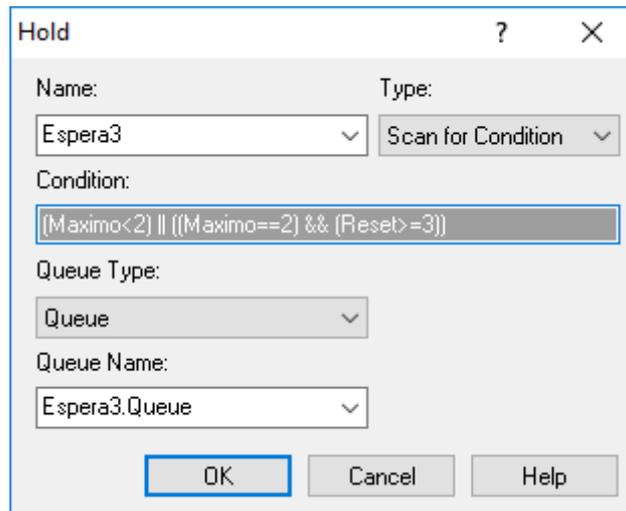


Figura 11 - Propiedades del Módulo Hold Espera3.

Se dará paso a las entidades retenidas en este módulo [Espera3] si se cumple una de las dos condiciones:

- Que el valor actual de la variable *Maximo* sea menor que dos.
- Que el valor de la variable *Maximo* sea igual a 2 y, además, el valor de la variable *Reset* sea igual o mayor que 3 (La utilidad de la variable *Reset* la explicaremos más adelante en la página 32).

3.2.5 Descripción del Sistema de Distribución

El proceso de Distribución se encarga de enviar las cargas de prendas de las zonas de esperas a las tres secadoras disponibles dependiendo de la situación actual del sistema.

Se disponen de 3 secadoras con una capacidad de dos cargas de prendas del mismo tipo por cada una de las secadoras. Estas secadoras podrán ser utilizadas con una única carga de prendas dependiendo de las necesidades o la programación del día. Este apartado cambiará mucho el diseño de modelo ya que estamos obligados a que existan ambas opciones y utilizar la más óptima en cada momento.

3.2.5.1 Situaciones posibles a considerar en la distribución.

- Si al menos dos secadoras están vacías el sistema de Distribución enviará la primera carga que entre a las esperas a una secadora y se pondrá en marcha. En primer lugar, evitamos perder tiempo esperando otras cargas cuando hay varias secadoras libres que pueden ser aprovechadas y, en segundo lugar, disponemos de 6 tipos distintos de prendas y es posible que las siguientes no sean del mismo tipo de prenda.
- Si solo hay una secadora vacía comprobaremos en nuestro sistema si entre las 3 zonas de espera hay dos cargas del mismo tipo para combinarlas y enviarlas a la secadora disponible, de no ser así, enviaremos la carga de la [Espera3] a la secadora disponible (los procesos de la línea de lavado duran 3 minutos menos que los de la otra línea de lavado).
- Si las tres secadoras están ocupadas las líneas trabajarán hasta llenar las zonas de esperas correspondientes, en el momento que eso ocurra, las líneas se pararán.

3.2.5.2 Descripción de la variable *Maximo*.

Lo primero que tenemos que controlar, para cumplir la lógica de la simulación, es en número de secadoras que hay ocupadas en cada momento.

Llevaremos la cuenta del número de secadoras ocupadas en cada momento contando las cargas que entran y que salen de las mismas con la variable *Maximo*.

Comenzará en 0 al inicio de la simulación y le sumaremos 1 cada vez que enviemos una carga de prendas (individual o combinada) de la distribución a la secadora, del mismo modo restaremos 1 a la variable cuando se libere una de las secadoras. De esta manera cuando el valor de la variable *Maximo* alcance el valor 3 implicará que las 3 secadoras están ocupadas. Estas cuentas las realizaremos en los diferentes módulos Assign del sistema como [As Max Entrada 1].

3.2.5.3 Flujograma de la Distribución

La siguiente Figura 18 muestra el flujograma de la simulación para la combinación de dos entidades del mismo tipo.

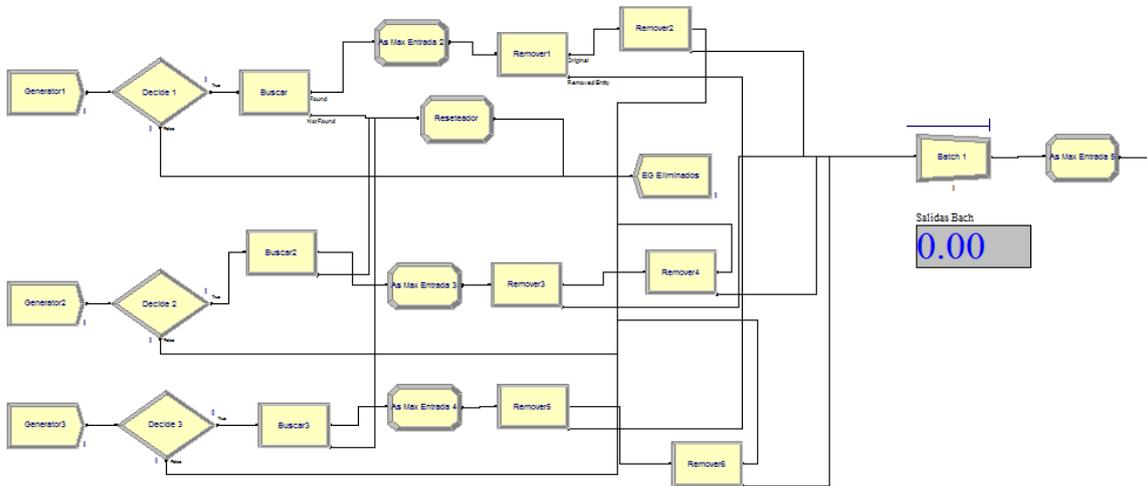


Figura 18 – Flujograma sistema de Distribución.

Para explicar el método utilizado de forma más sencilla y detallada lo dividiremos en 3 partes que funcionan de manera similar, la primera de ellas:

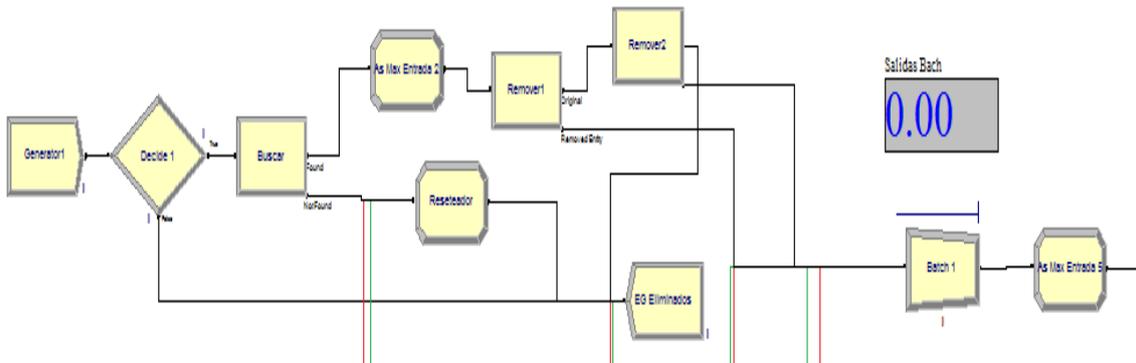


Figura 19* – Parte 1 del Flujograma del sistema de Distribución.

**Nota: Las líneas rojas y verdes proceden de las otras dos partes del sistema de distribución, se les ha cambiado el color para poder diferenciar cada parte.*

El funcionamiento de forma conceptual de esta parte del flujograma consiste en comparar si en dos de las zonas de esperas hay una entidad con mismo tipo de prenda. De ser cierto, y disponer de alguna secadora libre, el flujograma se encarga de sacar esas dos entidades para unir las en un Batch y enviarlas a la secadora sin que se envíen varias cargas de prendas simultáneamente a las secadoras y se generen colas.

Cada una de las tres partes se encarga de hacer una de las posibles comparaciones entre las tres esperas.

3.2.5.4 Descripción del Flujoograma

El módulo `create [Generator1]`, genera entidades llamadas EG que son entidades generadas únicamente para el funcionamiento de la simulación, no existe en el modelo real. Estas entidades las usamos para comprobar las condiciones de los siguientes módulos y se generan con la siguiente expresión descrita sus propiedades.

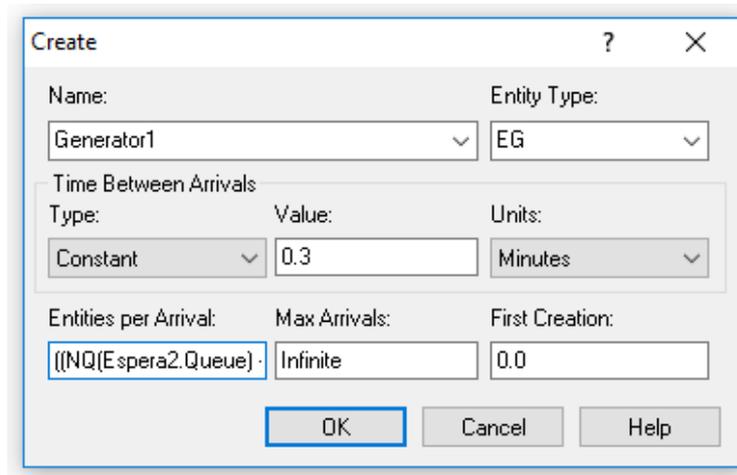


Figura 20 – Propiedades del Módulo Create Generator1.

Entities per Arrival: $((NQ(Espera2.Queue) + NQ(Espera1.Queue)) - 1)$

Esta condición cuenta el número de entidades en cola en el módulo `[Espera2]` y lo suma al número de entidades en `[Espera1]`. Como hemos mencionado anteriormente sistema está diseñado para que solo pueda haber una única entidad en cada cola.

Por lo que pueden darse tres casos:

- Si las dos esperas están vacías cada una tendrá el valor 0 por lo que el número de entidades que se generan es -1, es decir, no se generan entidades.
- Si una de las dos esperas está vacía el valor total de la ecuación es 0, por lo que tampoco se generan entidades.
- Si ambas esperas están ocupadas el valor de la ecuación será 1 por lo que se generará una entidad del tipo EG.

Cuando la entidad EG se genera pasa a un módulo Decide llamado [Decide 1] que comprueba el valor actual de la variable *Maximo*.

- Si el valor de *Maximo* es igual o superior a 3 significa que están todas las secadoras ocupadas y la entidad será descartada en el módulo Dispose [EG Eliminados]. Pero mientras la condición del módulo [Generator1] tenga el valor 1 la simulación enviará periódicamente entidades EG para comprobar la condición de este módulo Decide.
- Si el valor de *Maximo* es inferior a 3 significa que hay alguna secadora libre por lo que la entidad EG pasará hacia un nuevo tipo de módulo que no habíamos visto hasta ahora, el módulo Search [Buscar].

Al llegar la entidad EG a el módulo [Buscar] se realiza la comprobación de una condición. Dependiendo si la condición se cumple o no la entidad EG se enviará por una salida u otra.

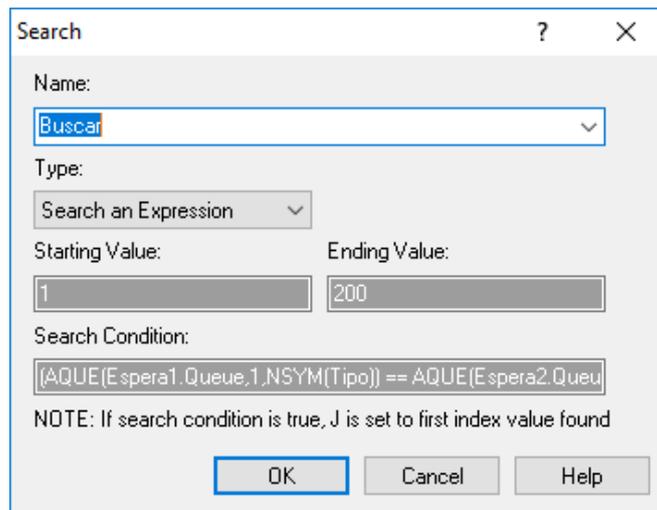


Figura 21 – Propiedades del Módulo Search Buscar.

Esta es la condición asignada a este módulo:

$(AQUE(Espera1.Queue,1,NSYM(Tipo)) == AQUE(Espera2.Queue,1,NSYM(Tipo)))$

Esa expresión comprueba que la entidad que se encuentra en los módulos Hold [Espera1] y [Espera2] tienen exactamente el mismo valor para el atributo *Tipo*.

- Si se cumple la quiere decir que las dos cargas son del mismo tipo de prenda, por lo que las podemos unir en un módulo Bach. Entonces la entidad entrante EG se enviará al módulo [As Max Entrada 2].
- Si no se cumple la condición la entidad EG se enviará al módulo Assign [Reseteador] para actualizar el valor de una variable y se descartará en el módulo Dispose [EG Eliminados].

Una vez la entidad EG pasa por el módulo [As Max Entrada 2] le sumamos 3 a la variable *Maximo* con el objetivo de impedir que durante los siguientes pasos de este proceso las entidades en las esperas no avancen a las secadoras como si estuviesen todas ocupadas. La finalidad de esta decisión es evitar una situación poco probable en el que una entidad de una de las esperas es enviada a una secadora mientras intentamos juntarla con otra del mismo tipo. Más adelante restaremos 2 a la variable *Maximo* para llevar la cuenta real de lavadoras ocupadas.

Se trata de un caso poco probable ya que este proceso de distribución no consume tiempo de simulación, pero tenemos que evitar esas situaciones ya que producen un error que detiene la simulación al intentar buscar una entidad que ya no existe.

Una vez actualizado el valor de la variable *Maximo*, la entidad EG pasa por un módulo Remove [Remover 1] que mueve una de las entidades comparadas de su módulo, en este caso la entidad de la [Espera 1], a este módulo.

La entidad movida se envía entonces al módulo Bach [Bach 1] y la entidad EG entrante pasará a otro módulo Remove [Remover 2] donde obtendremos la segunda entidad anteriormente comparada para enviarla también al [Bach 1]. La entidad EG se descartará en el módulo Dispose [EG Eliminados].

Por último, una vez unidas cargas, en el módulo Assign [As Max Entrada 2] le restamos 2 al valor actual de la variable *Maximo*, puesto que le habíamos sumado 3 para evitar errores, y tenemos que llevar la cuenta del número reales de secadoras ocupadas. Con esta entidad saliente del módulo Bach ocuparemos solo 1 secadora ($3 - 2 = 1$).

3.2.5.5 Resto del Sistema de Distribución

En el anterior apartado describimos el funcionamiento de una de las tres partes del flujograma de la Distribución (Figura 18 y 19 página 28).

El resto funciona de manera equivalente, mientras que la parte explicada anteriormente se encarga de comparar y mover las entidades de los módulos [Espera 1] y [Espera 2], la otra parte realiza el mismo procedimiento, pero:

- Desde el módulo [Genetador2] el proceso compara las entidades en los módulos [Espera 2] y [Espera 3].
- Desde el módulo [Genetador3] el proceso compara las entidades en los módulos [Espera 1] y [Espera 3].

3.2.5.6 Descripción de la variable Reset

La variable *Reset* se utiliza para prevenir una posible situación que ocurre cuando hay ocupadas dos secadoras.

Por un lado, ninguna carga individual pasará a menos que se disponga de dos o más secadoras libres, por otro lado, si las entidades en las tres esperas son de diferente tipo no se podrán combinar en el Bach. En este caso la secadora quedaría libre y se perdería tiempo de uso hasta que la situación de la simulación cambie.

En la Figura 18 de la página 28 se puede ver que los tres módulos Search [Buscar], [Buscar2] y [Buscar3] están conectados al módulo [Reseteador] en la salida para la cual la condición no se cumple y desde ese módulo las entidades son descartadas en el Dispose [EG Eliminados].

La variable *Reset* comienza en 0 al inicio de la simulación y cada vez que una entidad pase por el módulo [Reseteador] se le sumará 1 al valor actual de la variable *Reset*.

Cuando esta variable tome el valor 3 implica que han ocurrido tres intentos fallidos al comparar los tipos de entidades de las esperas.

Al no encontrar una combinación entre las tres posibles, gracias a la condición adicional en el módulo [Espera 3], si hay una secadora libre y la variable *Reset* tiene un valor igual o mayor que tres enviará su carga a la secadora.

El valor de esta variable se reseteará a 0 si sale una carga individual en el módulo Assign [As Max Entrada 1], o a la salida del Bach, en el módulo Assign [As Max Entrada 5] si logramos encontrar una combinación antes de los tres intentos.

3.2.6 Descripción de las Secadoras y la Salida

Tanto la salida de las esperas como la salida del módulo Bach del sistema de distribución conectan a están conectados a las secadoras como se muestra en la figura 22:

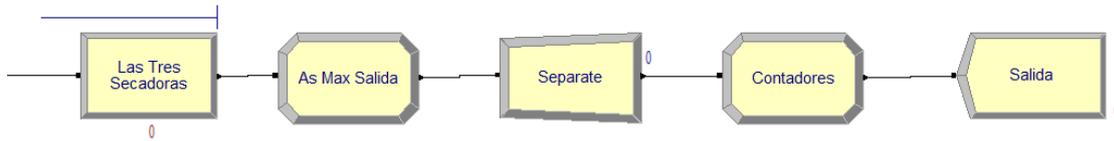


Figura 22 – Fragmento final del flujograma.

El módulo Process [Las Tres Secadoras] tiene asignado una capacidad de tres recursos, uno por cada secadora. Cada entidad utilizará uno de los recursos de forma independiente con tiempo de uso diferente que viene dado por la variable *Tiempo*.

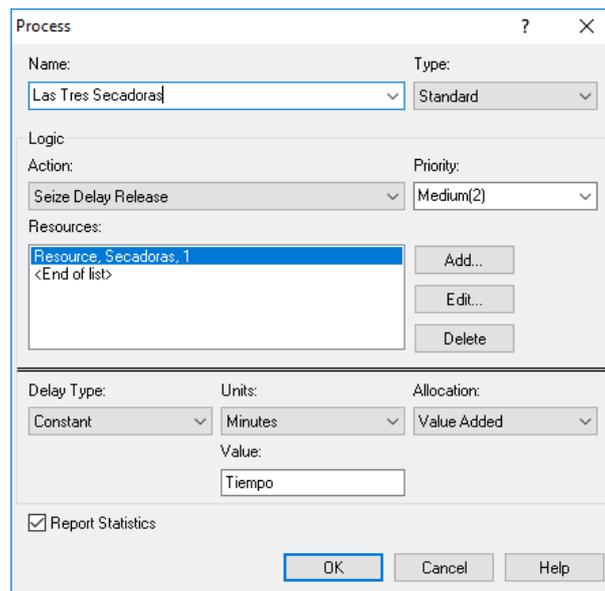


Figura 23 – Propiedades del módulo Process Las Tres Secadoras.

Una vez terminado el proceso la carga pasará por el módulo Assign [As Max Salida] para descontar 1 al valor de la variable *Maximo* y actualizar la cuenta del número de secadoras ocupadas.

A continuación, si se trataba de dos cargas de prendas unidas en el Bach se volverán a separar en el módulo Separate. De ser una carga individual pasará sin ningún cambio.

Por último, las cargas pasarán por un módulo Assign [Contadores] que utilizo para llevar la cuenta de los tipos de prendas que salen en la variable Array *Contador* como se muestra en la Figura 24:

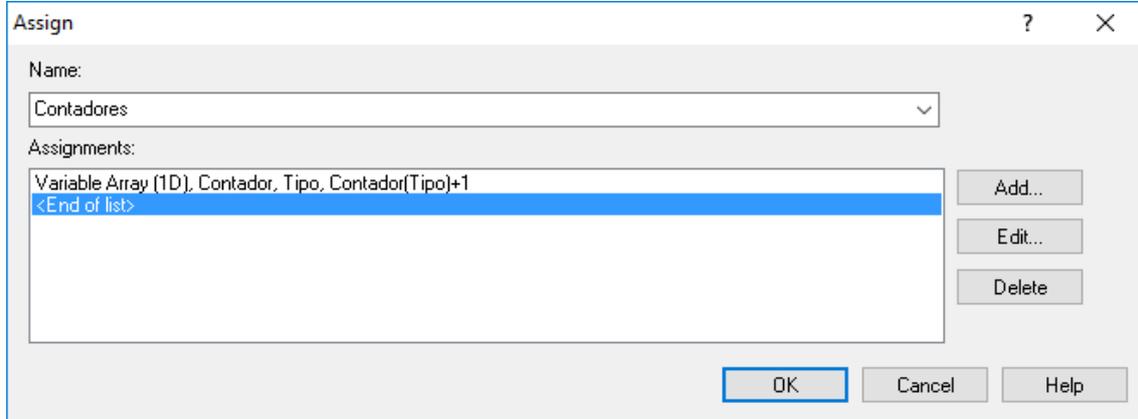


Figura 24 – Propiedades del módulo Assign Contadores

3.2.7 Resumen Datos Utilizados

Los datos utilizados para crear la simulación fueron los siguientes:

- Tiempo de simulación: 7 horas por día simulado.
- Los tiempos para los 12 procesos de la línea de lavado 1 son constantes de 3 minutos.
- Los tiempos para los 6 procesos de la línea de lavado 2 son constantes de 6 minutos.
- El tiempo de ambos procesos de deshidratación son de 3 minutos.
- Se le asigna 1 al valor inicial de las variables *Lavado1* y *Lavado2*.
- Se le asigna 0 al valor inicial de las variables *Maximo*, *Reset* y a todo el Array *Contador*.
- Para cada tipo de prenda se le asignaron los siguientes atributos como se refleja en la Tabla 2:

Valor Asignado	Tipo de Prenda	Proporción de Entidades Entrantes [Usados en las Verificaciones]	Tiempo de Secado [min]
1	Sábanas Blancas	60 %	4
2	Colchas	14 %	9
3	Toallas	11 %	14
4	Metidas	7 %	4
5	Mantas	5 %	14
6	Pijamas	3 %	4

Tabla 2 – Datos de los tipos de prendas.

3.3 Métodos de Obtención de Resultados

Para obtener los resultados de nuestro modelo, además de los contadores utilizados en la simulación, disponemos de dos herramientas para la obtención de datos.

3.3.1 Reports

La primera herramienta son los Reports, estos son documentos generados al finalizar la simulación. Arena calcula por defecto determinadas estadísticas tales como tiempo que las entidades pasan esperando en cada cola, utilización de cada recurso, tiempo acumulado, el número total que abandonan el sistema y el número total que se generan. Para cada valor estadístico Arena calcula el valor promedio (Average) el valor máximo (maximum value) y el valor mínimo (minimum value).

Estos documentos obtenidos como resultados están adjuntos en los Anexos para las diferentes validaciones realizadas.

3.3.2 Visual Basic Editor

Se trata del propio lenguaje de programación del software Arena. A diferencia de los documentos Reports generados, este método es mucho más complejo para visualizar los valores de los resultados, pero con él podemos conseguir cualquier información de la simulación en un documento de texto.

Utilizaremos esta herramienta para obtener la cuenta del total de cargas de prendas salientes por cada uno de los seis tipos ya que no hay opciones para mostrar variables del tipo Array en los Reports. Por otro lado, no se pudieron almacenar las salidas de cada tipo de prenda en una variable diferente debido a la limitación de la versión de estudiante.

El código básicamente crea un documento de texto donde almacenaremos la información en un directorio especificado. Luego se lleva la cuenta de cada una de las simulaciones pedidas, y para cada una de ellas utilizamos un bucle “for” que devuelve la salida de cada tipo de prenda almacenada en el Array Contador. Estos resultados los separamos por punto y coma para que sean más sencillos de pasar a un documento Excel y trabajar con los resultados.

El código del programa utilizado está adjunto en el Anexo: Código de Visual Basic.

3.4 Verificación del Modelo

A lo largo del proceso de creación del modelo simulado se realizaron diversas tareas de verificación para comprobar que la simulación funcionaba como se esperaba:

- Se comprobó de forma independiente en pequeñas simulaciones el funcionamiento de cada tipo de módulo antes de ser utilizados.
- Se realizaron pequeños modelos de prueba en ficheros independientes para comprobar que cada mejora funcionaba de la manera que se pretendía antes de aplicarlos al modelo final.
- Se llevaron a los casos extremos los diversos parámetros del modelo final (incrementado drásticamente los tiempos de secado o generando un solo tipo de prenda) para detectar las situaciones poco probables que pudieran no estar contempladas.
- Además de contadores, también se utilizó las herramientas del software Arena “BreackPoints” y “Wach” para llevar el control de las variables, salidas, esperas y colas a lo largo del proceso de simulación para detectar posibles anomalías.

3.5 Validación del Modelo

La validación de un modelo consiste en verificar que tan certero es nuestro modelo simulado antes de fiarnos del mismo para llevarlo a la práctica.

Existen varias formas de validar un modelo como puede ser una la validación cruzada que consiste en utilizar otras herramientas de simulación para comparar los resultados o también las validaciones con expertos en el sector para comprobar que los resultados se mantienen dentro de las estadísticas de los modelos similares.

Para validar el modelo simulado decidimos en nuestro caso realizar dos tareas diferentes.

Para la primera utilizamos los valores promedios de los datos de la lavandería y los comparamos con nuestros resultados para 100 simulaciones.

Para la segunda el experto Germán, responsable de la lavandería a estudiar, nos facilitó los datos para tres casos específicos reales y comparamos los resultados con los datos de nuestro modelo.

3.5.1 Primera Tarea de Validación

Las cantidades de prendas salientes del sistema de lavado y secado de la lavandería del Hospital Universitario de Canarias varían entre los 6.200 Kg y los 7.800 Kg de. Su ritmo nominal es de 1.000 Kg/hora para una jornada de 7 horas.

Las variaciones de las salidas del peso total, para cada tipo de prenda, son los siguientes:

- Sábanas Blancas 52-67%
- Colchas 5-16%
- Toallas 10-14%
- Metidas 4-7%
- Mantas 4-12%
- Pijamas 2-5%

Tomando como partida esos datos, introduciremos el valor medio para cada tipo de prenda y realizaremos 100 iteraciones de la simulación. Como estamos utilizando una probabilidad cada iteración será diferente a la anterior, pero se mantendrá cerca de la media.

Valores Utilizados:

- Sábanas Blancas 60%
- Colchas 11%
- Toallas 12%
- Metidas 6%
- Mantas 8%
- Pijamas 3%

Una vez obtenidos los resultados comprobaremos si en todos los casos el peso total se mantiene dentro de los valores normales (6.200 Kg y 7.800 Kg) y cuál es nuestra media de producción.

3.5.1.1 Resultados Report

Los resultados del Report que lo podemos encontrar en el Anexo: Report Primera Validación. En ellos podemos observar algunos de los datos como:

- Las unidades de la simulación: Horas
- Número de Réplicas: 100
- Número medio de entidades que llegaron a la salida: 149
- Los tiempos de uso de todos los procesos

Además, observando los tiempos de colas de los procesos de lavado podemos comprobar que valen 0, es decir, en ningún momento se forman colas.

Hay que aclarar que en la segunda página generada se puede ver los datos de las entidades creadas del tipo “PackSecado” en el módulo Bach y las entidades del tipo “Carga Prendas” creadas al comienzo de las dos líneas de lavado. Para esta última el número mostrado no corresponde con las que realmente se enviaron.

Esto se debe a que el módulo Create genera constantemente entidades, pero con la condición de creación que establecimos hace que esas entidades creadas valgan 0 a menos que la condición cambie. Las entidades se crean y toman ese valor 0 pero nunca llegan a enviarse ya que no tienen significado. En el Report se están contando todas las entidades creadas, no solo las enviadas, por eso ese número tan elevado.

También se puede ver una serie de gráficas donde se muestra, entre otros datos, que la línea dos en general procesa menos cantidad de cargas al final de la simulación. Esto se debe a que a pesar que el tiempo total que tarda una entidad en pasar ambas líneas es el mismo, en la línea 2 los procesos duran 6 minutos, eso quiere decir que si las líneas salen de una saturación en la primera línea tarda 3 minutos más en obtener una carga de prendas. Al final de muchas horas de simulación estas variaciones repercuten en la efectividad de cada línea.

3.5.1.2 Resultados del Visual Basic

En las tablas 3 y 4 del Anexo: Tablas Primera Validación podemos ver los resultados obtenidos en la salida por cada simulación y para cada tipo de prenda. También se muestra el número total de cargas que han salido del sistema y su valor en kilogramos.

Casi la totalidad de los resultados se muestran resaltados en color verde, esto indica que la producción de esa jornada simulada de 7 horas se encuentra dentro del rango normal (6.200 Kg y 7.800 Kg), pero al calcular el promedio de las 100 simulaciones obtenemos como resultado 7464Kg. Ese valor medio se encuentra un poco por encima a la media esperada para el ritmo nominal de 1000Kg por hora, es decir, una media de 7000Kg diarios.

Si secar una carga de 50Kg de forma individual conlleva una espera de 4 minutos como mínimo, para esa diferencia de 450Kg se necesita de 36 minutos de jornada extra de media. Ese tiempo varía en función de los tiempos de secado de esas prendas y si se secan las cargas conjuntas o por separado.

A pesar de estar dentro del rango habitual, esta diferencia es lo suficientemente importante como para intentar determinar las causas que no estamos contemplando por los que posiblemente el modelo simulado no se esté ajustando a la media real:

- En primer lugar, en el sistema real ninguna carga de prenda pesa exactamente 50Kg, generalmente se encuentra un poco por debajo. El pesaje se realiza antes de enviarlo al almacén y esas pequeñas variaciones que no estamos contemplando al sumarlas en grandes cantidades de salidas empiezan a notarse.
- En segundo lugar, a pesar de que los procesos del sistema real son muy precisos, existen pequeños tiempos no contemplados cuando un proceso pasa su carga al siguiente. Después de largas simulaciones pueden suponer algún minuto de diferencia que nuestro sistema sí utiliza.
- Por otro lado, la programación de nuestro sistema de distribución funciona de manera instantánea no hay tiempos de recogida de las cargas, además de que no estamos contemplado el factor humano. Es aquí donde probablemente se está generando la mayor diferencia de tiempos entre la simulación y el modelo real.

Con los datos de las tablas 3 y 4 calculamos para cada tipo de prenda la media de las salidas y su desviación estándar para las 100 simulaciones comprobando que nuestros resultados (Tabla 5) son muy similares a los valores esperados de la Lavandería Hospitalaria. Además, si tenemos en cuenta la desviación estándar y los intervalos de confianza al 95% calculados aún nos mantendremos dentro de los márgenes de producción reales.

	Sábanas Blancas [%]	Colchas [%]	Toallas [%]	Metidas [%]	Mantas [%]	Pijamas [%]	Salidas [Kg]
Valor Utilizado	60,00	11,00	12,00	6,00	8,00	3,00	
Promedio Obtenido	59,75	11,30	11,69	6,24	7,90	3,13	7464
Desviación Estándar	4,05	2,69	2,44	1,87	2,28	1,39	208,78
Intervalos de confianza al 95%	[53,99; 66,26]	[7,28; 16,88]	[7,23; 15,66]	[3,52; 9,33]	[4,11; 11,65]	[1,32; 5,82]	[7073,75; 7800]

Tabla 5 – Resultados en % de la Media y Desviación Estándar.

3.5.2 Segunda Tarea de Validación

Para realizar este segundo proceso de validación el responsable de la Lavandería Hospitalaria, Germán Gonzales Rodríguez, nos facilitó los datos reales las salidas de tres jornadas de trabajo.

Caso 1: Producción total turno: 6.200 Kg

- Sábanas: 3.224 Kg
- Colchas: 992 Kg
- Toallas: 682 Kg
- Metidas: 434 Kg
- Mantas: 620 Kg
- Pijamas: 248 Kg

Caso 2: Producción total turno: 7.000 Kg

- Sábanas: 4.690 Kg
- Colchas: 420 Kg
- Toallas: 770 Kg
- Metidas: 280 Kg
- Mantas: 560 Kg
- Pijamas: 280 Kg

Caso 3: Producción total turno: 6.800 Kg

- Sábanas: 4.352 Kg
- Colchas: 340 Kg
- Toallas: 952 Kg
- Metidas: 340 Kg
- Mantas: 476 Kg
- Pijamas: 340 Kg

Para realizar esta validación nos encontramos con dos inconvenientes:

1. Como podemos observar los resultados de las salidas para cada tipo de prenda no están en múltiplos de 50Kg. Esto se debe a que los resultados incluyen las variaciones que se producen en el almacén de distribución cuando los operarios llenan las bolsas de un mismo tipo de prenda. El valor del peso real es medido en el almacén antes de enviarlo a las líneas de lavado.
2. En el software arena nosotros tenemos que asignarles a las entidades entrantes los atributos que necesitamos para nuestro caso, pero para generar un número controlado y exacto de entidades de un mismo tipo tendríamos que simular todo el subsistema de almacén clasificado y subsistema Clasificación Sucia que precede al de lavado, algo que no podemos realizar debido a la limitación del estudiante del Arena.

Para esa limitación actualmente utilizamos el límite de elementos (módulos, entidades, variables, etc.) máximos permitidos.

Para poder hacerlo con los datos que disponemos, en primer lugar, calculamos que porcentaje del total de las salidas corresponde a cada tipo de prenda, y luego calculamos el número de cargas de 50Kg necesarias para esas cantidades. Los resultados se pueden ver en la siguiente Tabla 6 para el caso 1:

1º	Cantidad en Kg	Porcentaje del total %	Número de Cargas de 50 Kg Necesarias
Sábanas	3224	52	64,48
Colchas	992	16	19,84
Toallas	682	11	13,64
Metidas	434	7	8,68
Mantas	620	10	12,40
Pijamas	248	4	4,96
Total	6200	100	124

Tabla 6 – Datos Caso 1.

En segundo lugar, utilizaremos nuestro modelo simulado el porcentaje de salida para cada tipo de prenda calculado en la Tabla 6.

Luego, estableceremos una condición a la simulación para que cada replica se detenga cuando han salido un número determinado de entidades. Si se alcanza esa condición, se comprueba que somos capaces de replicar el caso real dentro de las 7 horas de jornada generando la misma cantidad total de cargas de prendas.

Para el caso 1 el número total de cargas a la salida fueron 124 como se muestra en la Tabla 6.

Con todas estas modificaciones generamos 100 réplicas para cada caso.

3.5.2.1 Resultados Caso 1

Utilizando los datos de la Tabla 6, obtenemos los resultados que se muestran el Anexo: “Caso 1 Segunda Validación”, Tablas 15 y 16.

Como observamos en las casillas en verde, casi todos los casos 124 entidades a la salida. Vemos que en algunos obtenemos 125 entidades esto solo ocurre cuando la última salida de una secadora era una unión de dos cargas del mismo tipo de prenda, pasando de 123 a 125, por lo que para nuestro análisis lo tomamos como válido.

Como los valores asignados para la asignación del tipo de prenda son probabilísticos no en todos los casos se asemejarán a lo que estamos buscando. Esto se asimila a cuando lanzamos una moneda al aire, aunque los dos posibles resultados tienen un 50% de probabilidad, en la práctica solo en grandes cantidades de resultados se aproximarán al 50%. Por ello realizaremos la media de las 100 réplicas para cada tipo de prenda y compararemos resultados.

Estos fueron los porcentajes de los resultados de la media en comparación al valor real.

	Sábanas Blancas [%]	Colchas [%]	Toallas [%]	Metidas [%]	Mantas [%]	Pijamas [%]	Salidas [Kg]
Valor Utilizado	52,00	16,00	11,00	7,00	10,00	4,00	
Promedio Obtenido	52,52	15,76	10,85	6,63	10,09	4,15	6210
Desviación Estándar	4,70	3,02	2,83	2,09	2,62	1,85	20,10
Intervalos de confianza al 95%	[45,14; 60,48]	[11,16; 20,2]	[6,45; 15,36]	[4,03; 10,48]	[6,41; 14,52]	[1,6; 7,3]	[6200; 6250]

Tabla 7 – Resultados Caso 1

Se siguieron estos mismos pasos para el resto de casos.

3.5.2.2 Resultados Caso 2

Datos utilizando para las tablas del Anexo “Caso 2 Segunda Validación”:

2º	Cantidad en Kg	Porcentaje del total %	Número de Cargas de 50 Kg Necesarias
Sábanas	4690	67	93,80
Colchas	420	6	8,40
Toallas	770	11	15,40
Metidas	280	4	5,60
Mantas	560	8	11,20
Pijamas	280	4	5,60
Total	7000	100	140

Tabla 8 – Datos Caso 2.

Resultados obtenidos:

	Sábanas Blancas [%]	Colchas [%]	Toallas [%]	Metidas [%]	Mantas [%]	Pijamas [%]	Salidas [Kg]
Valor Utilizado	67,00	6,00	11,00	4,00	8,00	4,00	
Promedio Obtenido	67,25	5,98	10,62	4,12	7,89	4,14	7008,5
Desviación Estándar	4,00	1,95	2,48	1,76	2,26	1,78	18,88
Intervalos de confianza al 95%	[60,27; 73,57]	[3,55; 9,29]	[6,43; 15]	[2,09; 7,18]	[4,29; 11,43]	[1,43; 7,18]	[7000; 7050]

Tabla 9– Resultados Caso 2

3.5.2.3 Resultados Caso 3

Datos utilizando para las tablas del Anexo “Caso 3 Segunda Validación”:

4º	Cantidad en Kg	Porcentaje del total %	Número de Cargas de 50 Kg Necesarias
Sábanas	4352	64	87,04
Colchas	340	5	6,80
Toallas	952	14	19,04
Metidas	340	5	6,80
Mantas	476	7	9,52
Pijamas	340	5	6,80
Total	6800	100	136

Tabla 10 – Datos Caso 3

Resultados obtenidos:

	Sábanas Blancas [%]	Colchas [%]	Toallas [%]	Metidas [%]	Mantas [%]	Pijamas [%]	Salidas [Kg]
Valor Utilizado	64,00	5,00	14,00	5,00	7,00	5,00	
Promedio Obtenido	64,27	4,99	13,49	5,16	6,81	5,29	6808,5
Desviación Estándar	4,24	1,99	2,95	1,78	2,19	2,16	18,88
Intervalos de confianza al 95%	[57,61; 70,66]	[1,47; 8,82]	[8,82; 19,15]	[2,94; 8,82]	[3,68; 10,29]	[1,47; 8,76]	[6800; 6850]

Tabla 11– Resultados Caso 3

3.5.3 Conclusiones de las Validaciones

Como los valores medios obtenidos en los tres casos son muy aproximados los valores reales y, junto a la primera validación, podemos afirmar que el modelo simulado si se ajusta al modelo conceptual creado para el subsistema Lavado y Secado.

Pero el modelo real engloba todos los subsistemas de la Lavandería Hospitalaria y es mucho más complejo, dándose casos que no tenemos contemplados tanto por tipos de prendas con diferentes tratamientos como las del grupo infeccioso, como por saturaciones que pueden darse en el subsistema previo almacén clasificado y en las líneas posteriores de planchado. Aun así, este modelo simulado es efectivo mientras nos mantengamos dentro de las suposiciones y simplificaciones realizadas en el modelo conceptual que abarcan solo una parte esa producción.

Es por eso que nuestro modelo es solo una base desde la que partir como fase previa para crear un modelo final que pueda simular el conjunto de la Lavandería Hospitalaria. Para ello describimos a continuación unas posibles mejoras para que tanto el modelo conceptual como el modelo simulado adquieran una mayor validez.

3.5.4 Posibles Mejoras

La mayoría de estas mejoras no se pudieron incluir en el modelo presentado debido a la limitación del software Arena para estudiantes que ya hemos mencionado en varias ocasiones.

Las posibles mejoras a para este modelo consisten básicamente en ampliar el rango de sistemas que abarca el modelo conceptual para lograr una simulación que englobe toda actividad de la lavandería hospitalaria, no solo del subsistema lavado y secado.

Una vez validado esa nueva simulación obtendremos la información de la producción real de la lavandería, e incluso podríamos empezar a crear optimizaciones en el diseño.

Sobre todo, para la primera mejora, tendríamos que incluir en la simulación el subsistema almacén clasificado para tener en cuenta la capacidad del mismo y poder enviar las entidades en el orden deseado para cumplir con las demandas.

Luego, el sistema real de varios grupos de prendas, entre ellos el que utilizamos en el modelo, el grupo de Hospitalización. Abarcar todos estos grupos con sus diferentes tipos de prendas sería muy importante para simular la actividad de cualquier día, no solo la de ciertos días espáticos. Pero para poder incluirlos necesitaríamos de muchas más variables para almacenar los datos, además, las prendas de algunos grupos como el Infeccioso requieren de cambios en los procedimientos de lavado, distribución y secado.

También sería importante controlar la variación media que suele haber en los pesos de las cargas de prendas para unos resultados más precisos, como hicimos en la página 46.

Por otro lado, aunque no lo tenemos contemplado, nuestra etapa simulada está limitada por el ritmo máximo al que puede ir la siguiente (trenes de planchado), en el caso de las sábanas (1100 unidades de sábanas por hora, 528 Kg/hora). Si la velocidad del Lavado y Secado es superior al Planchado, también llegará el colapso, pues la capacidad de almacenamiento en espera de los trenes planchado es baja. Por eso sería conveniente poder incluir este subsistema en nuestro modelo, pero tiene la dificultad de que gran parte de la operación de la realizan operarios.

Otra mejora a tener en cuenta consiste en incluir los tiempos necesarios de los recursos humanos cuando el sistema de distribución los requiere. No están contemplados como variables del sistema debido a la complejidad que conlleva. Con esto se conseguirían valores mucho más precisos.

Además, sería interesante añadir más elementos visuales a la simulación para facilitar la tarea de interpretación del modelo y los datos.

Por último, una vez realizada las mejoras previamente comentadas lo más óptimo sería realizar también una Validación cruzada que consiste en crear otro modelo con un software de simulación de eventos discretos distinto y así poder comparar los resultados para determinar la validez de esta simulación.

4. CONCLUSIÓN

En el presente proyecto creamos un modelo conceptual del sistema “lavado y secado” de una lavandería hospitalaria. Con ese modelo conceptual desarrollamos una simulación que recrea la actividad real del sistema, y sometimos esa simulación a un estudio para comprobar la validez de los resultados.

Los resultados afirmaron la validez de la simulación, pero solo para los casos que están dentro de las hipótesis y simplificaciones realizadas, es decir, nuestro modelo no tiene en cuenta las condiciones externas al sistema de “lavado y secado” que pueden influir en su producción.

Esto se debe a que el modelo real engloba todos los subsistemas de la Lavandería Hospitalaria y es mucho más complejo. En el proyecto definimos muchas de esas condiciones que no pudieron ser incluidas en el diseño por la limitación del software Arena para estudiantes.

A pesar de eso, este proyecto puede servir como una base sólida para crear en un futuro una simulación que completa con todos los sistemas de la Lavandería Hospitalaria o para estudiar aquellos casos que cumplan las condiciones de nuestro modelo conceptual.

4.1.1 Conclusions

In the present project, we created a conceptual model of the "washing and drying" system of a hospital laundry. With this conceptual model, we developed a simulation that recreates the real activity of the system, and submitted that simulation to a study to verify the validity of the results.

The results affirmed the validity of the simulation, but only for the cases that are within the assumptions and simplifications made, ergo, our model does not consider the external conditions to the system of "washing and drying" that can influence its production.

This is because the real model includes all the subsystems of the Hospital Laundry and is much more complex. In this project, we explain many of those conditions that could not be included in the design because of the limitation of the Arena software for students.

Despite that, this project can serve as a solid base to create in a future a simulation with all the systems of Hospital Laundry, or to study those cases that satisfy the conditions of our conceptual model.

5. BIBLIOGRAFÍA

Libro de Jerry Banks para la simulación de eventos discretos:

https://cs313pnu.files.wordpress.com/2014/02/discrete-event_system_simulation_by_jerry_banks.pdf

Web Oficial de Rockwell Arena:

<https://www.arenasimulation.com/>

Wikipedia:

https://es.wikipedia.org/wiki/Pruebas_de_validaci%C3%B3n

<https://es.wikipedia.org/wiki/Verificaci%C3%B3n>

Documentación facilitada por el Profesor

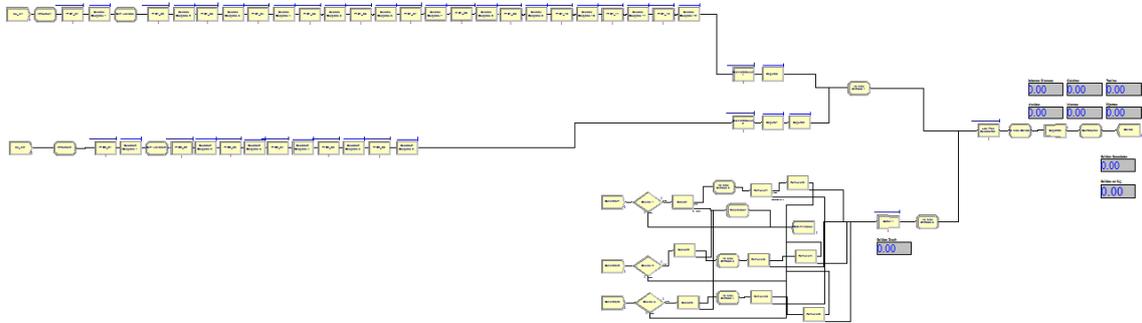
Guía de usuario para el software Rockwell Arena:

<http://iiesl.utk.edu/Courses/IE406%20S07/Slides/Arena%20User's%20Guide.pdf>

El Menú de ayuda interno del software Arena

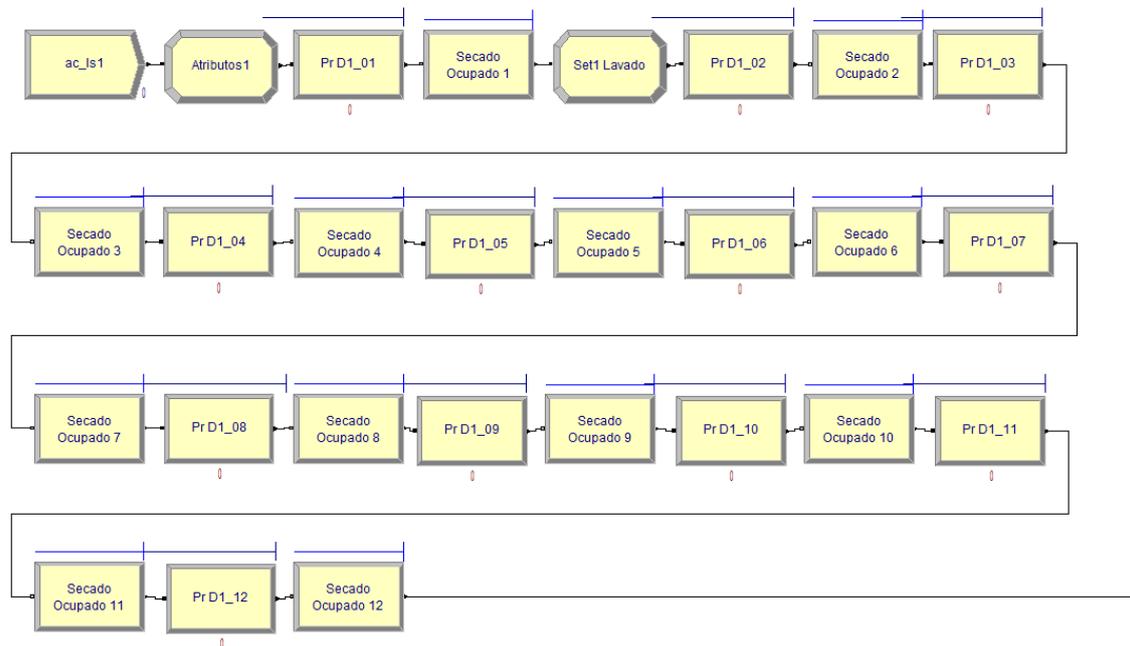
6. ANEXO: DISEÑO DEL FLUJOGRAMA

6.1.1 Vista Global del Diseño



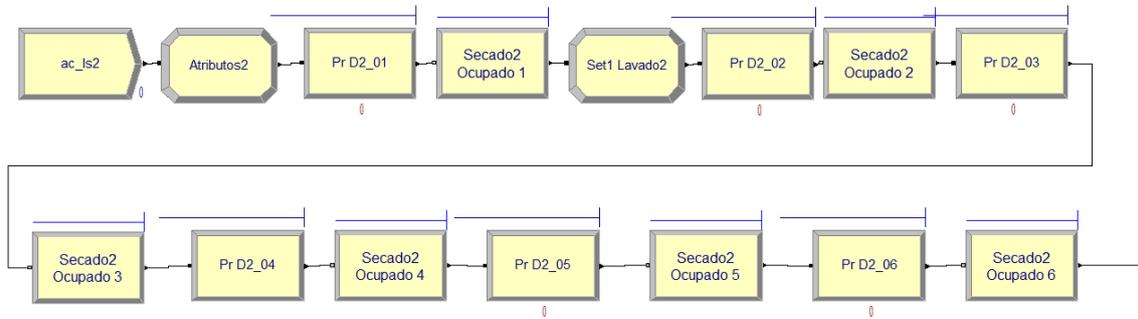
6.1.2 Línea de Lavado 1

Nota: Se ha alterado la forma en la que se colocaron los módulos para una visualización más ampliada y clara. Sigue siendo la misma línea.

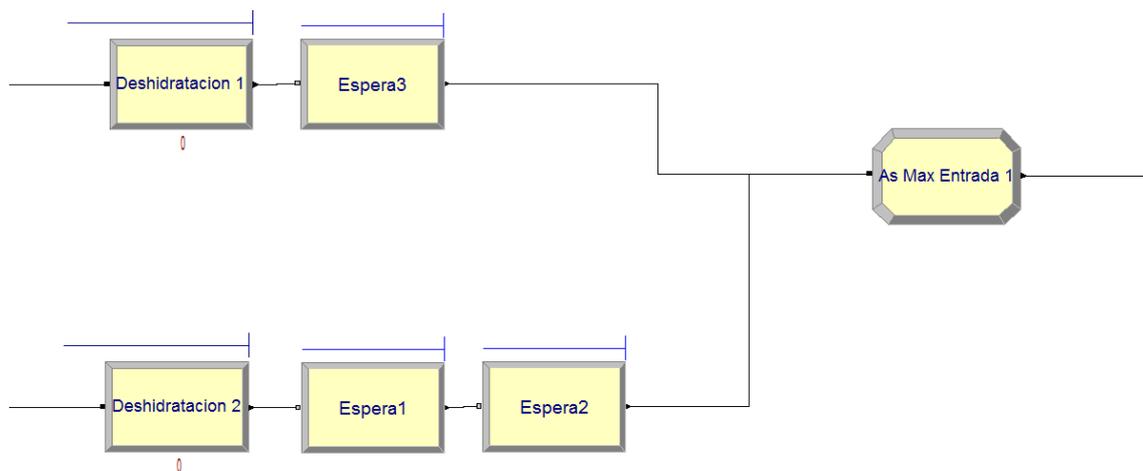


6.1.3 Línea de Lavado 2

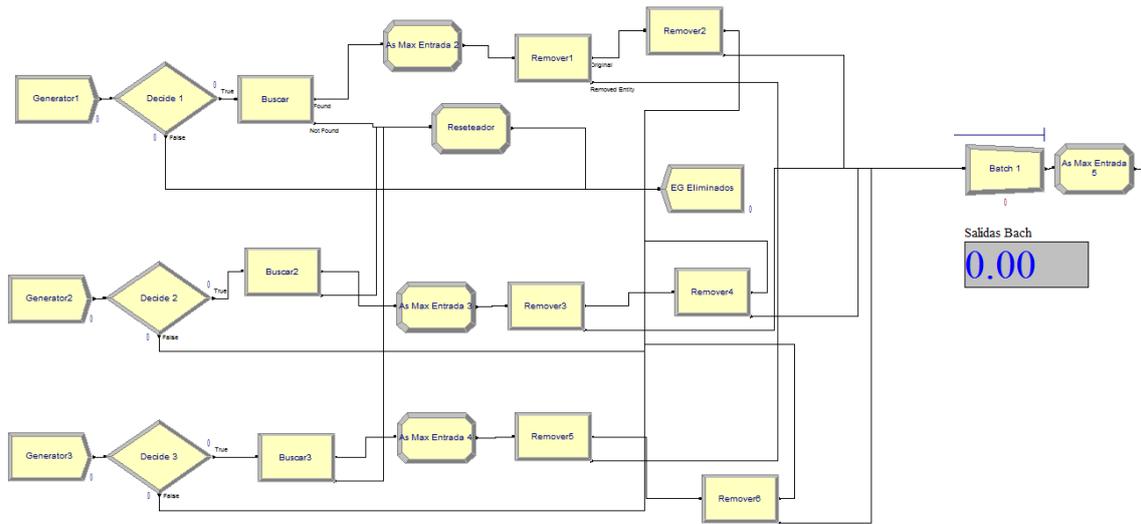
Nota: Se ha alterado la forma en la que se colocaron los módulos para una visualización más ampliada y clara. Sigue siendo la misma línea.



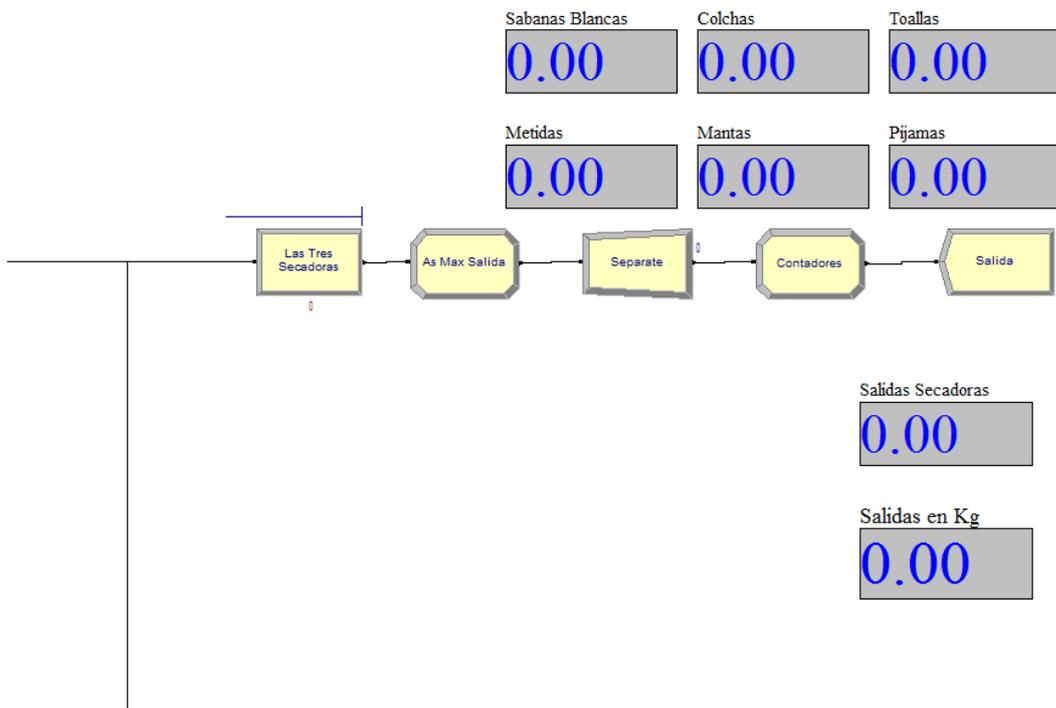
6.1.4 Deshidratación y Esperas



6.1.5 Distribución



6.1.6 Secadoras y Salida



7. ANEXO: SISTEMAS LAVANDERÍA

7.1.1 Sistema Lavandería

Este sistema se divide en los siguientes subsistemas principales como se muestra en la Figura 2:

- Almacén Ropa Sucia (LAS).
- Almacén Ropa Nueva (LAN).
- Clasificación Ropa Sucia (LCS).
- Almacén Clasificado (LAC)
- Lavado (LLV).
- Lavado-Secado (LLS).
- Clasificación Limpia (LCL).
- Secado Exterior (LSE).
- Acabado Plana (LAP).
- Acabado Manual (LAM).
- Acabado Uniformes (LAU).
- Expedición (LEP).
- Almacén Contingencia (LCO)

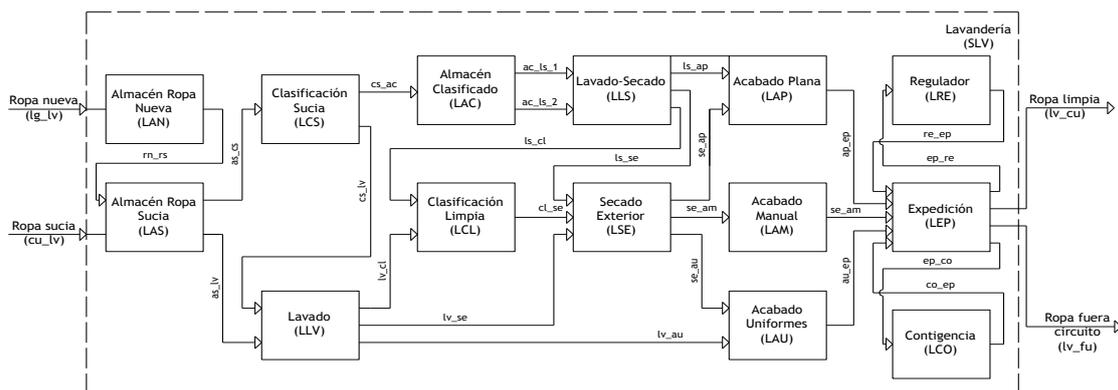


Figura 12 – Sistema Lavandería, Fuente: Germán C. González. Responsable de la lavandería hospitalaria.

7.1.2 Subsistema Almacén Ropa Sucia

Las entradas en el sistema Lavandería se registrarán como elementos almacenados de ropa sucia en el subsistema Almacén (LAS). En este no se les realizará transformación alguna, es decir, seguirán siendo elementos de carga de ropa sucia mezclada de cantidad y peso variables, pero identificados por el grupo que pertenecen y también al orden de llegada.

Cada elemento del almacén será enviado a los subsistemas de clasificación de ropa sucia (LCS) o directamente al Lavado (LLV), siguiendo una secuencia que dependerá de la programación de procesado establecida en el turno de trabajo que se esté estudiando.

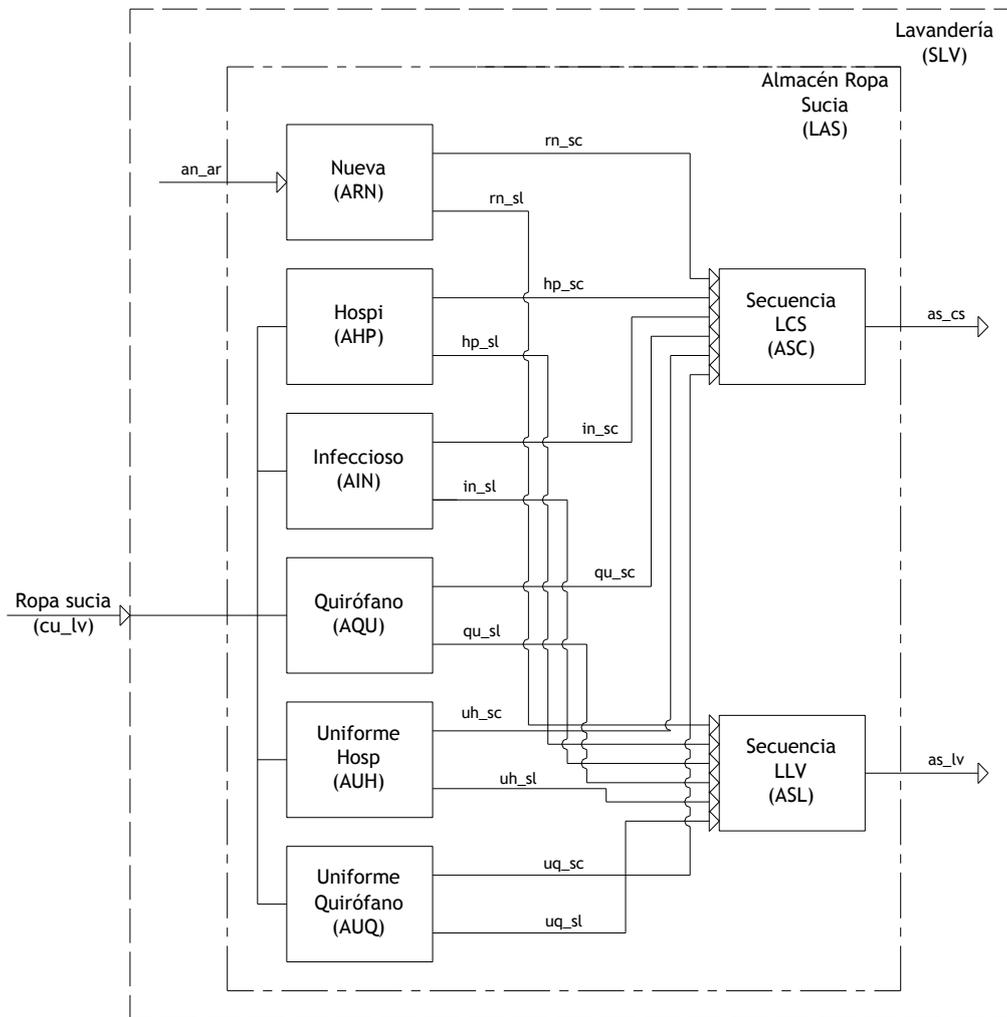


Figura 13 – Subsistema Almacén Ropa Sucia, Fuente: Germán C. González. Responsable de la lavandería hospitalaria.

7.1.3 Subsistema Almacén de Ropa Nueva

El Subsistema Almacén de Ropa Nueva (LAN) registra entradas en función de los pedidos que se realicen al Sistema Logística (SLG), que vendrán determinados por el stock mínimo de cada tipo de prenda.

Una vez son registradas las entradas, éstas se dispondrán en los almacenamientos específicos de cada tipo de prenda (subsistemas NP1...NPN) en donde permanecerán hasta que reciban una orden de salida.

Las salidas de cada tipo de Prenda correspondiente se efectuarán por cantidades determinadas (ordenadas por la programación de la producción del turno).

El Subsistema de Distribución (NDR) se responsabilizará de registrar la salida de ropa nueva y enviarla al Almacén Ropa Sucia (LAS).

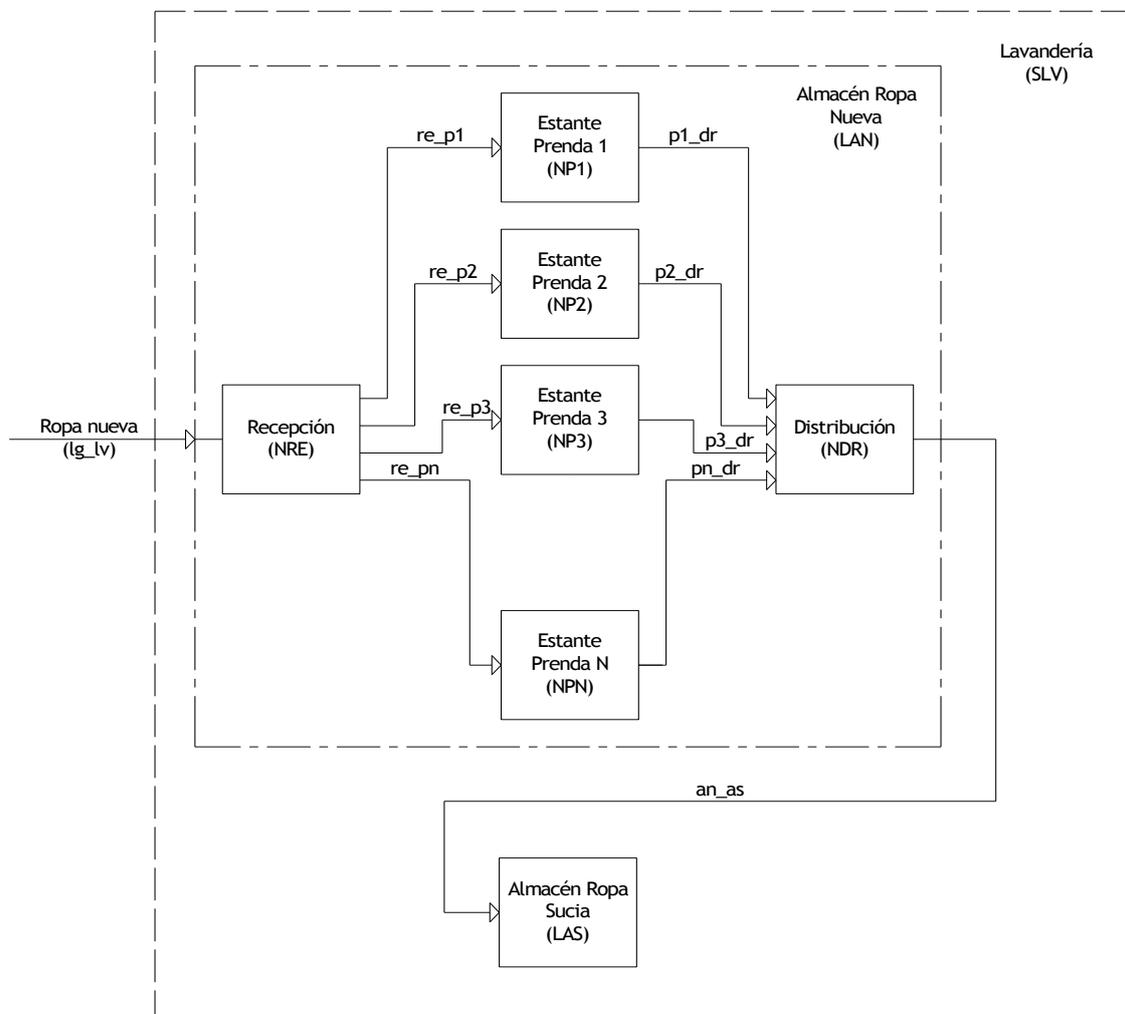


Figura 14 – Subsistema Almacén Ropa Nueva, Fuente: Germán C. González. Responsable de la lavandería hospitalaria.

7.1.4 Subsistema Clasificación Sucia

Los elementos que llegan a este subsistema Clasificación Sucia(LCS) son de peso y cantidad de prendas mezcladas variables, pero identificados cada uno de ellos según el grupo GTS de origen.

Una vez entran en el Clasificador Manual (CCA) se segregarán por un operario uno a uno, en función de la clasificación que se asigne a cada una de ellos, y se enviarán al cargador que tiene la designación del tipo de prenda al que pertenecen. Sólo los elementos considerados dentro del grupo GTS como Infecciosos no se separarán por prendas, permaneciendo las mismas bajo las envolventes que los protegen, y teniendo el conjunto de prendas de prenda mezcladas con su envoltente la consideración de un artículo.

Una vez cada cargador llega a su peso de salida, su contenido se convertirá en un elemento de peso fijo y con una cantidad de prendas del mismo tipo variable, y se enviará al transportador aéreo que tiene la función de entregarlo al Almacén Clasificado (LAC).

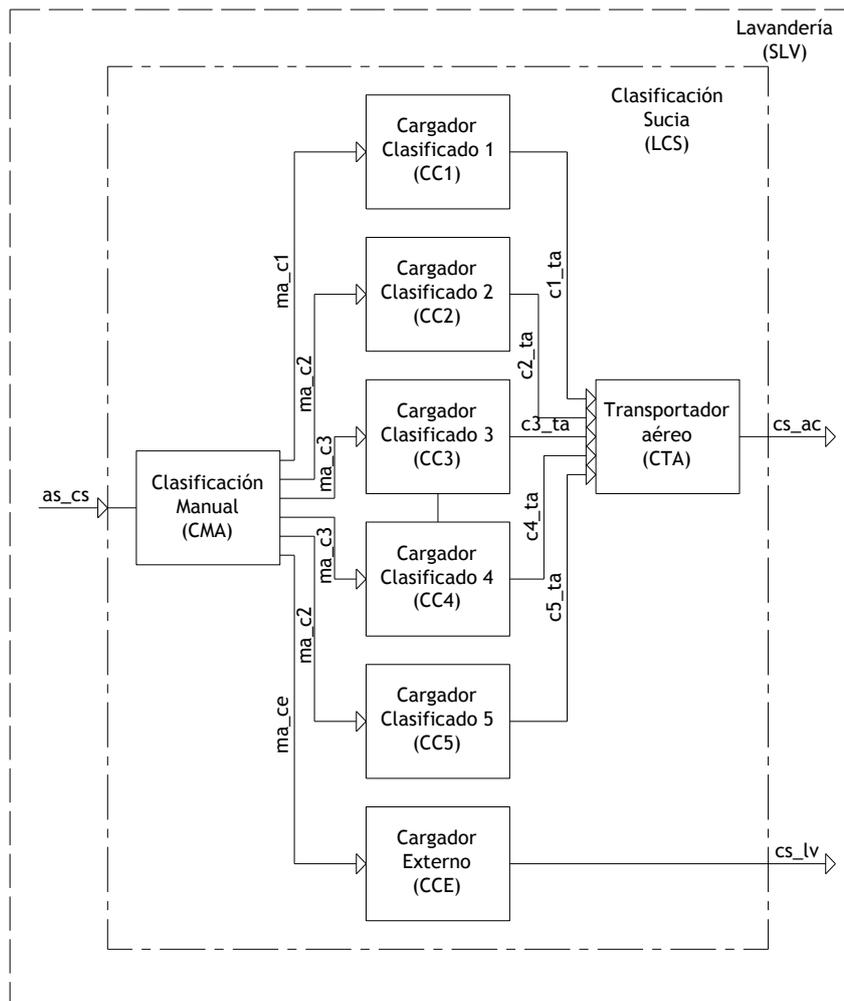


Figura 15 – Subsistema Clasificación Sucia, Fuente: Germán C. González. Responsable de la lavandería hospitalaria.

7.1.5 Subsistema Almacén Clasificado

Una vez se produce la entrada en el Almacén Clasificado (LAC), elemento a elemento (sacos de carga), pasarán por un distribuidor (AD1) que se encargará de guiarlos hasta las líneas que tienen programadas el mismo tipo de ropa que contiene cada saco, donde permanecerán almacenados hasta que reciban la orden de salida.

Del subsistema Almacén de Sacos irán saliendo de acuerdo a la secuencia de elementos de cada artículo de ropa establecida por la programación del turno para cada uno de los descargadores que dispone el Almacén Clasificado, pasando previamente por un distribuidor (AD2), que se encargará de enviar el elemento al descargador que le corresponde.

En cada descargador se irá descargando uno a uno cada saco, de acuerdo al orden de llegada.

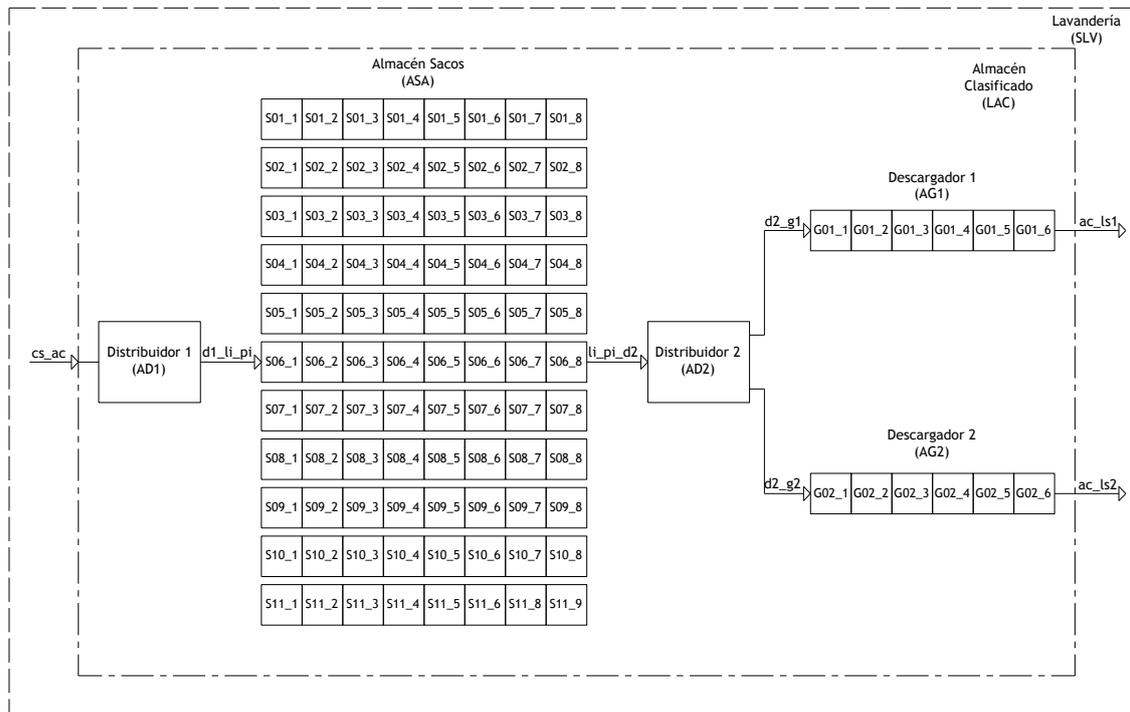


Figura 16 – Subsistema Almacén Clasificado, Fuente: Germán C. González. Responsable de la lavandería hospitalaria.

8. ANEXO: MÓDULOS SOFTWARE ARENA

8.1.1 Módulos básicos de flujo

Los Módulos de flujo se colocan en la ventana del modelo y se conectan para formar el diagrama de flujo, que será lo que describa la lógica del proceso.

Módulo Create: Se emplea como punto de comienzo para las entidades en el modelo de simulación. En este módulo se especifica el nombre y el tipo de entidad, el número de entidades por envío y el tiempo entre envíos de entidades.



Estas entidades son personas u objetos que se mueven por el sistema y que en algún momento de la simulación son producidas o atendidas, cambiando con ello el estado del sistema.

Módulo Decide: Este módulo permite tomar decisiones del proceso en el sistema. Proporciona la opción de tomar decisiones basadas en una o más condiciones o basadas en una o más probabilidades. Las condiciones pueden ser tomadas basadas en valores de atributos definidos en el sistema, valores de variables, tipo de entidades o expresiones.



Módulo Dispose: Este módulo representa el punto final de entidades en un modelo de simulación. Las estadísticas de la entidad se registrarán antes de que la entidad se elimine del modelo.



Módulo Process: Este es el módulo principal para procesar entidades en el sistema. Existen cuatro tipos de procesos que tienen lugar dentro del módulo:



1. Delay indica que solamente se llevará a cabo un proceso de retardo sin que existan restricciones de recursos.
2. Seize Delay indica que un recurso será asignado en este módulo y que habrá un retardo y la liberación del recurso ocurrirá más tarde.
3. Seize Delay Release indica que se asignará un recurso seguido por un retardo y luego, se liberará el recurso reservado.
4. Delay Release indica que un recurso ha sido reservado previamente y que la entidad se retardará simplemente, y luego se liberará el recurso especificado.

Módulo Assign: Se emplea para asignar nuevos valores a las variables, atributos, tipos de entidades, etc. Se pueden hacer múltiples asignaciones empleando un solo módulo.



Módulo Batch: Se emplea para agrupar entidades de forma temporal o permanente. Aquellas entidades agrupadas temporalmente se podrán volver a separar empleando el módulo Separate. Las agrupaciones se pueden hacer a partir de un grupo de entidades cualesquiera o seleccionar la opción de que se unan aquellas que comparten un determinado atributo.



Batch

Módulo Separate: Esta opción se emplea para crear copias de entidades permitiendo así simular una entrada múltiple al sistema o bien se usa para separar un grupo de entidades que previamente han sido agrupadas.



Separate

Módulo Record: Este módulo se usa para recolectar informes estadísticos.



Record

8.1.2 Módulos de datos

Módulo Entity: Este módulo de datos permite trabajar sobre las características de varios tipos de entidades y sus valores gráficos. Permite también incluir costes iniciales y costes de almacenamiento para cada entidad.



Entity

Módulo Queue: Se utiliza para cambiar las reglas de comportamiento de una cola especificada. La regla de comportamiento o disciplina por defecto para las colas es primero en entrar, primero en salir, a menos que se especifique en este módulo.



Queue

Módulo Resource: Permite definir los recursos en la simulación, incluyendo informaciones referentes al coste y a disponibilidad.



Resource

Módulo Schedule: Este módulo puede ser usado junto al módulo de recursos para definir la programación de un recurso o con el módulo Create para definir la programación de llegadas.



Schedule

Módulo Set: Permite definir varios tipos de parámetros, incluyendo recursos, contadores, tipos de entidad y gráficos de entidad.



Set

Módulo Variable: Se utiliza para definir las dimensiones de las variables y sus valores iniciales. Las variables pueden ser referenciadas en otro módulo.



Variable

9. ANEXO: CÓDIGO DE VISUAL BASIC

```

(General) (Declarations)
Option Explicit
Dim fso As Object
Dim oFile As Object
Dim cont As Integer
' m : The Arena model
' s : m.SIMAN - the SIMAN object data
Dim m As Model, s As SIMAN

Private Sub ModelLogic_RunBeginSimulation()
' Use global variables to get to the model and to its SIMAN data. These variables are
' set once at the beginning of the run and reused throughout the run.
Set m = ThisDocument.Model
Set s = m.SIMAN
Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
Set oFile = fso.CreateTextFile("C:\\Users\\HP\\Desktop\\TFG\\Resultados.txt")
oFile.WriteLine "N; Tipo1; Tipo2; Tipo3; Tipo4; Tipo5; Tipo6; NOut"
End Sub

Private Sub ModelLogic_RunEndReplication()
Dim i As Integer
cont = cont + 1
oFile.write cont
For i = 1 To 6
oFile.write ("; " & s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("Contador", i)))
Next i
oFile.write "; " & s.EntitiesNumberInOfType(2)
oFile.write "; " & s.EntitiesNumberOutOfType(2)
oFile.WriteLine
End Sub

Private Sub ModelLogic_RunEndSimulation()
oFile.Close
Set fso = Nothing
Set oFile = Nothing

End Sub

```

10. ANEXO: REPORT PRIMERA VALIDACIÓN

7:38:38 **Category Overview** junio 1, 2017
Values Across All Replications

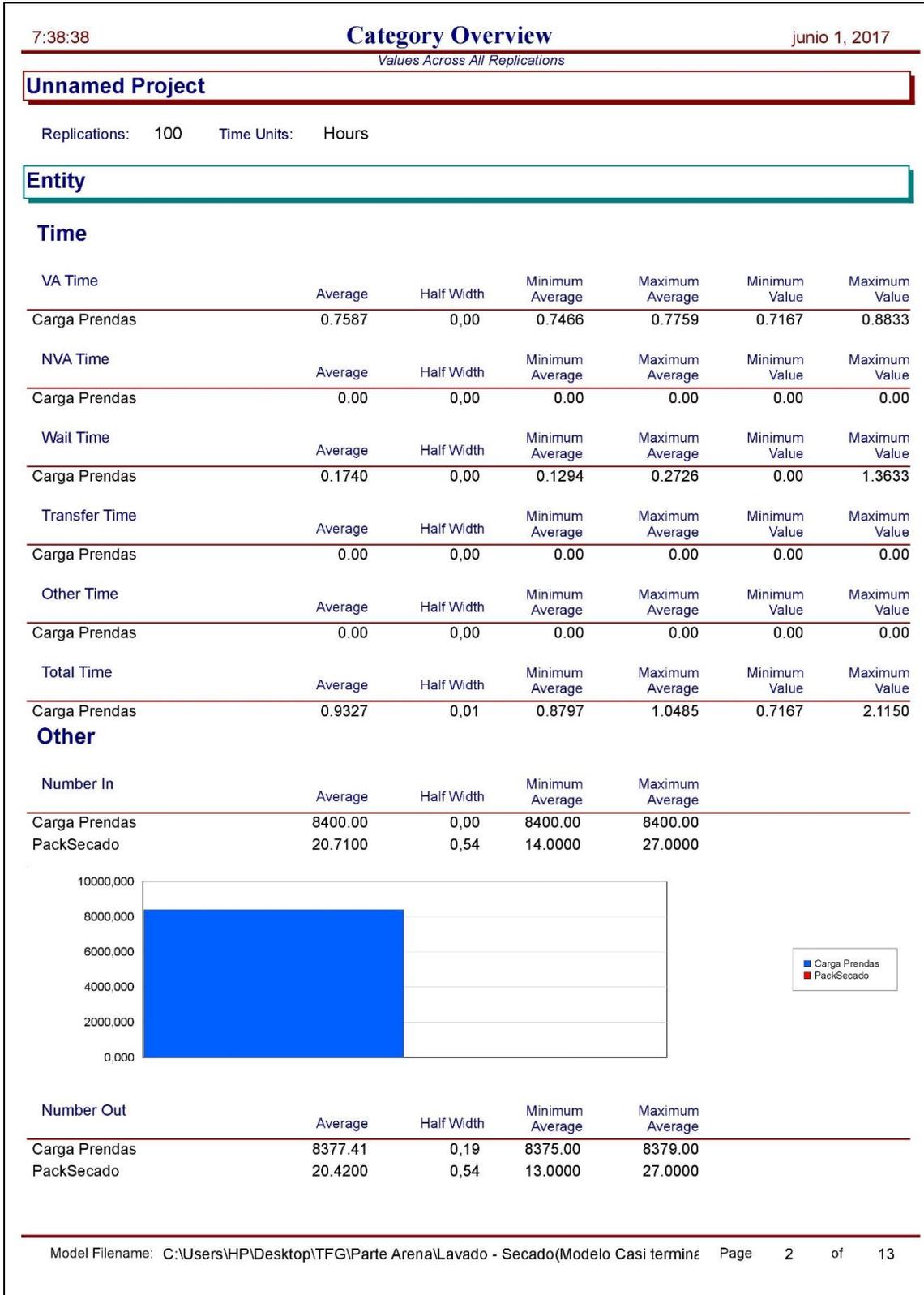
Unnamed Project

Replications: 100 Time Units: Hours

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	149

Model Filename: C:\Users\HP\Desktop\TFG\Parte Arena\Lavado - Secado(Modelo Casi termin Page 1 of 13



7:38:38		Category Overview				junio 1, 2017	
<i>Values Across All Replications</i>							
Unnamed Project							
Replications: 100		Time Units: Hours					
Entity							
Other							
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Carga Prendas	21.4502	0,03	20.9755	21.8874	0.00	27.0000	
PackSecado	0.2436	0,01	0.1424	0.3476	0.00	3.0000	

Model Filename: C:\Users\HP\Desktop\TFG\Parte Arena\Lavado - Secado(Modelo Casi terminz Page 3 of 13

7:38:38		Category Overview			junio 1, 2017	
Values Across All Replications						
Unnamed Project						
Replications: 100		Time Units: Hours				
Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch 1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Deshidratacion 1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Deshidratacion 2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera1.Queue	0.01265139	0,00	0.00059896	0.03900000	0.00	0.7250
Espera2.Queue	0.05115845	0,00	0.02251366	0.0916	0.00	0.7850
Espera3.Queue	0.01853202	0,00	0.01467687	0.02533730	0.00	0.1833
Las Tres Secadoras.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_01.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_02.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_03.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_04.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_05.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_06.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_07.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_08.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_09.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_10.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_11.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_12.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_01.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_02.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_03.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_04.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_05.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_06.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Secado Ocupado 1.Queue	0.01560517	0,00	0.01227273	0.02133681	0.00	0.1833
Secado Ocupado 10.Queue	0.01793235	0,00	0.01422442	0.02444444	0.00	0.1833
Secado Ocupado 11.Queue	0.01812214	0,00	0.01436667	0.02472868	0.00	0.1833
Secado Ocupado 12.Queue	0.01831600	0,00	0.01451178	0.02501961	0.00	0.1833
Secado Ocupado 2.Queue	0.01635774	0,00	0.01276758	0.02224561	0.00	0.1833
Secado Ocupado 3.Queue	0.01660051	0,00	0.01297840	0.02251773	0.00	0.1833
Secado Ocupado 4.Queue	0.01678051	0,00	0.01317757	0.02277778	0.00	0.1833
Secado Ocupado 5.Queue	0.01696974	0,00	0.01338050	0.02304348	0.00	0.1833
Secado Ocupado 6.Queue	0.01715962	0,00	0.01357143	0.02331502	0.00	0.1833
Secado Ocupado 7.Queue	0.01735155	0,00	0.01375000	0.02359259	0.00	0.1833
Secado Ocupado 8.Queue	0.01754708	0,00	0.01391586	0.02387640	0.00	0.1833
Secado Ocupado 9.Queue	0.01774649	0,00	0.01408497	0.02416667	0.00	0.1833
Secado2 Ocupado 1.Queue	0.00648785	0,00	0.00	0.02500000	0.00	0.6750
Secado2 Ocupado 2.Queue	0.00663865	0,00	0.00	0.02561728	0.00	0.6750
Secado2 Ocupado 3.Queue	0.00677823	0,00	0.00	0.02613208	0.00	0.6750
Secado2 Ocupado 4.Queue	0.00691709	0,00	0.00	0.02669872	0.00	0.6750

7:38:38		Category Overview				junio 1, 2017	
<i>Values Across All Replications</i>							
Unnamed Project							
Replications: 100		Time Units: Hours					
Queue							
Time							
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Secado2 Ocupado 5.Queue	0.00706266	0,00	0.00	0.02728758	0.00	0.6750	
Secado2 Ocupado 6.Queue	0.00721318	0,00	0.00	0.02790000	0.00	0.6750	
Other							
Model Filename: C:\Users\HP\Desktop\TFG\Parte Arena\Lavado - Secado(Modelo Casi terminz Page 6 of 13							

7:38:38		Category Overview			junio 1, 2017	
Values Across All Replications						
Unnamed Project						
Replications: 100		Time Units: Hours				
Queue						
Other						
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Batch 1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	2.0000
Deshidratacion 1.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Deshidratacion 2.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera1.Queue	0.1050	0,01	0.00547619	0.2786	0.00	1.0000
Espera2.Queue	0.4000	0,02	0.1976	0.5936	0.00	1.0000
Espera3.Queue	0.2460	0,00	0.2069	0.3069	0.00	1.0000
Las Tres Secadoras.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_01.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_02.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_03.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_04.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_05.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_06.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_07.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_08.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_09.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_10.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_11.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D1_12.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_01.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_02.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_03.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_04.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_05.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr D2_06.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Secado Ocupado 1.Queue	0.2340	0,00	0.1943	0.2955	0.00	1.0000
Secado Ocupado 10.Queue	0.2458	0,00	0.2067	0.3067	0.00	1.0000
Secado Ocupado 11.Queue	0.2458	0,00	0.2067	0.3067	0.00	1.0000
Secado Ocupado 12.Queue	0.2458	0,00	0.2067	0.3067	0.00	1.0000
Secado Ocupado 2.Queue	0.2430	0,00	0.2002	0.3048	0.00	1.0000
Secado Ocupado 3.Queue	0.2442	0,00	0.2017	0.3052	0.00	1.0000
Secado Ocupado 4.Queue	0.2444	0,00	0.2029	0.3055	0.00	1.0000
Secado Ocupado 5.Queue	0.2447	0,00	0.2040	0.3057	0.00	1.0000
Secado Ocupado 6.Queue	0.2450	0,00	0.2050	0.3060	0.00	1.0000
Secado Ocupado 7.Queue	0.2453	0,00	0.2057	0.3062	0.00	1.0000
Secado Ocupado 8.Queue	0.2455	0,00	0.2062	0.3064	0.00	1.0000
Secado Ocupado 9.Queue	0.2458	0,00	0.2067	0.3067	0.00	1.0000
Secado2 Ocupado 1.Queue	0.05864286	0,01	0.00	0.1964	0.00	1.0000
Secado2 Ocupado 2.Queue	0.05904286	0,01	0.00	0.1976	0.00	1.0000
Secado2 Ocupado 3.Queue	0.05930238	0,01	0.00	0.1979	0.00	1.0000
Secado2 Ocupado 4.Queue	0.05951667	0,01	0.00	0.1983	0.00	1.0000

7:38:38		Category Overview			junio 1, 2017		
<i>Values Across All Replications</i>							
Unnamed Project							
Replications: 100		Time Units: Hours					
Queue							
Other							
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Secado2 Ocupado 5.Queue	0.05974762	0,01	0.00	0.1988	0.00	1.0000	
Secado2 Ocupado 6.Queue	0.05997857	0,01	0.00	0.1993	0.00	1.0000	

Model Filename: C:\Users\HP\Desktop\TFG\Parte Arena\Lavado - Secado(Modelo Casi terminz Page 8 of 13

7:38:38
Category Overview
junio 1, 2017

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 100 Time Units: Hours

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
D1_01	0.7538	0,00	0.6929	0.7929	0.00	1.0000
D1_02	0.7466	0,00	0.6857	0.7857	0.00	1.0000
D1_03	0.7395	0,00	0.6786	0.7786	0.00	1.0000
D1_04	0.7323	0,00	0.6714	0.7714	0.00	1.0000
D1_05	0.7252	0,00	0.6643	0.7643	0.00	1.0000
D1_06	0.7181	0,00	0.6571	0.7571	0.00	1.0000
D1_07	0.7109	0,00	0.6500	0.7500	0.00	1.0000
D1_08	0.7038	0,00	0.6429	0.7429	0.00	1.0000
D1_09	0.6966	0,00	0.6357	0.7357	0.00	1.0000
D1_10	0.6895	0,00	0.6286	0.7286	0.00	1.0000
D1_11	0.6823	0,00	0.6214	0.7214	0.00	1.0000
D1_12	0.6752	0,00	0.6143	0.7143	0.00	1.0000
D2_01	0.9358	0,01	0.7976	0.9943	0.00	1.0000
D2_02	0.9215	0,01	0.7833	0.9800	0.00	1.0000
D2_03	0.9073	0,01	0.7690	0.9657	0.00	1.0000
D2_04	0.8930	0,01	0.7548	0.9514	0.00	1.0000
D2_05	0.8787	0,01	0.7405	0.9371	0.00	1.0000
D2_06	0.8644	0,01	0.7262	0.9229	0.00	1.0000
Deshidratacion1	0.6681	0,00	0.6071	0.7071	0.00	1.0000
Deshidratacion2	0.4269	0,00	0.3571	0.4571	0.00	1.0000
Secadoras	0.7002	0,00	0.6476	0.7477	0.00	1.0000

Model Filename: C:\Users\HP\Desktop\TFG\Parte Arena\Lavado - Secado(Modelo Casi terminz Page 9 of 13

7:38:38		Category Overview			junio 1, 2017	
Values Across All Replications						
Unnamed Project						
Replications: 100		Time Units: Hours				
Resource						
Usage						
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
D1_01	0.7538	0,00	0.6929	0.7929	0.00	1.0000
D1_02	0.7466	0,00	0.6857	0.7857	0.00	1.0000
D1_03	0.7395	0,00	0.6786	0.7786	0.00	1.0000
D1_04	0.7323	0,00	0.6714	0.7714	0.00	1.0000
D1_05	0.7252	0,00	0.6643	0.7643	0.00	1.0000
D1_06	0.7181	0,00	0.6571	0.7571	0.00	1.0000
D1_07	0.7109	0,00	0.6500	0.7500	0.00	1.0000
D1_08	0.7038	0,00	0.6429	0.7429	0.00	1.0000
D1_09	0.6966	0,00	0.6357	0.7357	0.00	1.0000
D1_10	0.6895	0,00	0.6286	0.7286	0.00	1.0000
D1_11	0.6823	0,00	0.6214	0.7214	0.00	1.0000
D1_12	0.6752	0,00	0.6143	0.7143	0.00	1.0000
D2_01	0.9358	0,01	0.7976	0.9943	0.00	1.0000
D2_02	0.9215	0,01	0.7833	0.9800	0.00	1.0000
D2_03	0.9073	0,01	0.7690	0.9657	0.00	1.0000
D2_04	0.8930	0,01	0.7548	0.9514	0.00	1.0000
D2_05	0.8787	0,01	0.7405	0.9371	0.00	1.0000
D2_06	0.8644	0,01	0.7262	0.9229	0.00	1.0000
Deshidratacion1	0.6681	0,00	0.6071	0.7071	0.00	1.0000
Deshidratacion2	0.4269	0,00	0.3571	0.4571	0.00	1.0000
Secadoras	2.1007	0,01	1.9429	2.2431	0.00	3.0000

Model Filename: C:\Users\HP\Desktop\TFG\Parte Arena\Lavado - Secado(Modelo Casi terminz Page 10 of 13

7:38:38
Category Overview
junio 1, 2017

Values Across All Replications

Unnamed Project

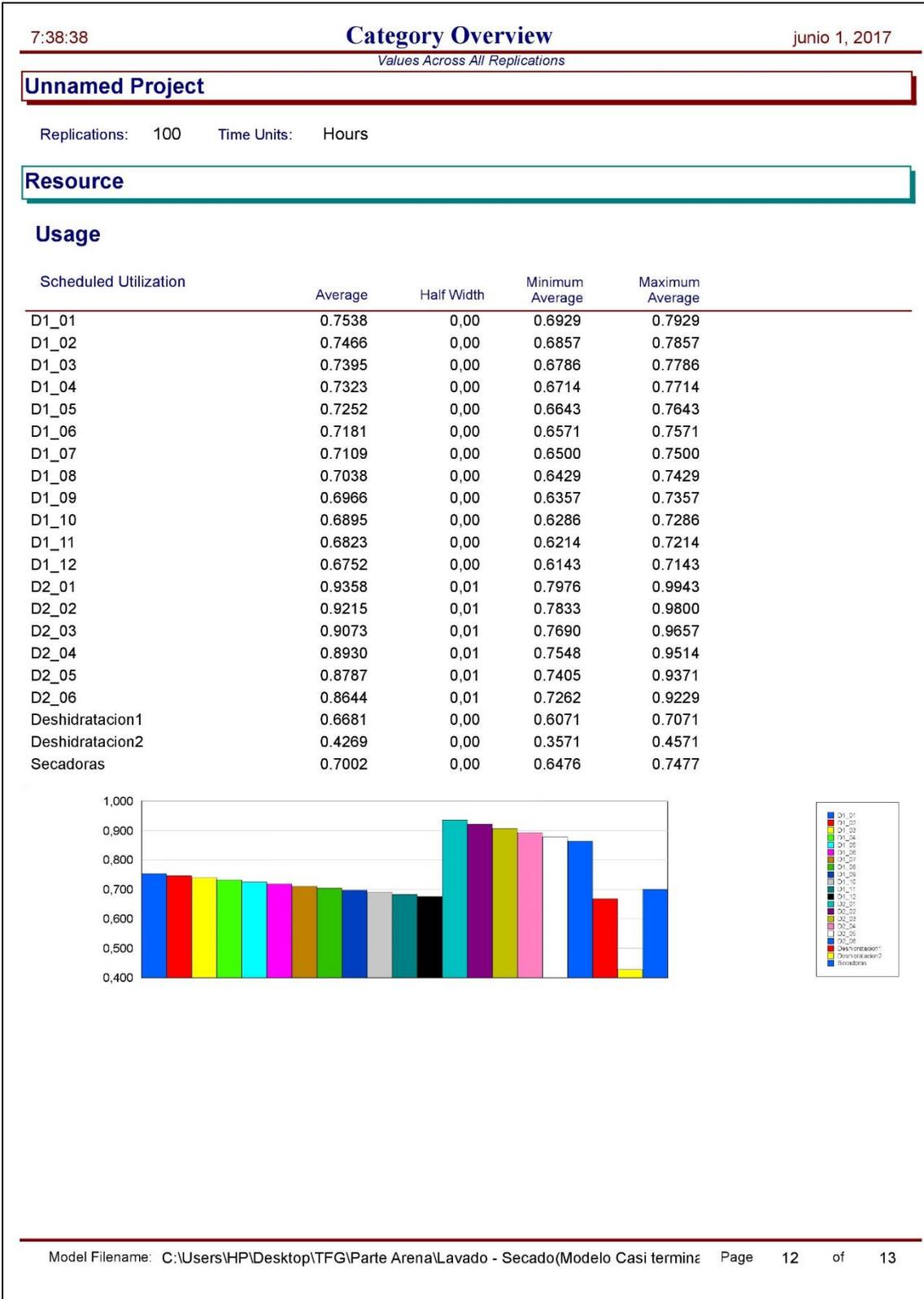
Replications: 100 Time Units: Hours

Resource

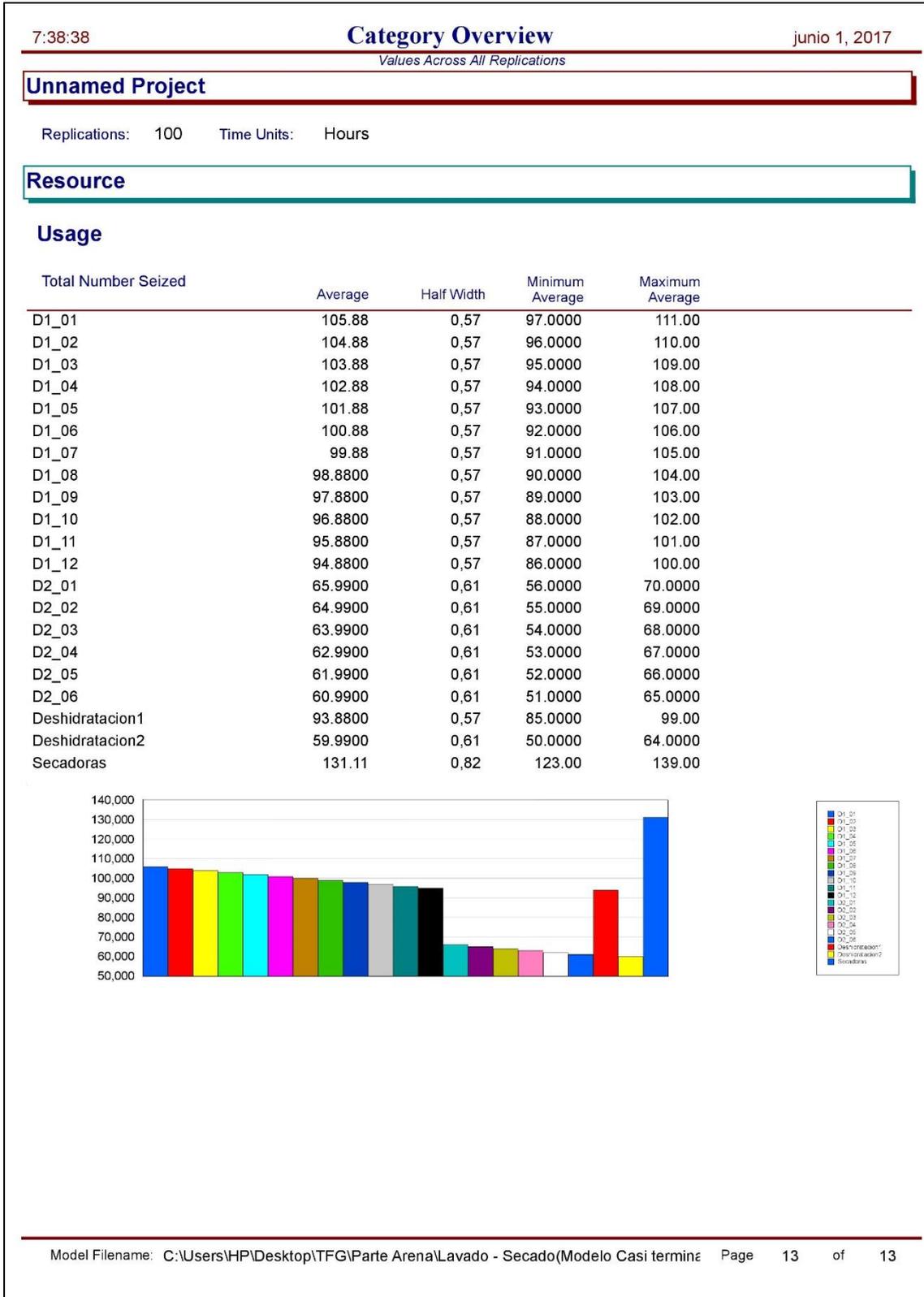
Usage

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
D1_01	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_02	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_03	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_04	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_05	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_06	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_07	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_08	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_09	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_10	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_11	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D1_12	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D2_01	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D2_02	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D2_03	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D2_04	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D2_05	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D2_06	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Deshidratacion1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Deshidratacion2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Secadoras	3.0000	0,00	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000

Model Filename: C:\Users\HP\Desktop\TFG\Parte Arena\Lavado - Secado(Modelo Casi terminz Page 11 of 13



Model Filename: C:\Users\HP\Desktop\TFG\Parte Arena\Lavado - Secado(Modelo Casi terminz Page 12 of 13



11. ANEXO: TABLAS PRIMERA VALIDACIÓN

Simulación	Sábanas Blancas	Colchas	Toallas	Metidas	Mantas	Pijamas	Salidas	Total
N	Tipo1	Tipo2	Tipo3	Tipo4	Tipo5	Tipo6	NOut	En Kg
1	87	11	16	10	19	8	151	7550
2	83	21	21	7	10	3	145	7250
3	93	13	25	9	8	4	152	7600
4	74	24	25	8	5	6	142	7100
5	105	18	16	2	9	5	155	7750
6	78	23	22	5	11	5	144	7200
7	80	15	19	8	14	7	143	7150
8	88	14	18	12	11	10	153	7650
9	97	16	16	9	9	6	153	7650
10	97	16	13	14	13	3	156	7800
11	84	17	21	13	12	3	150	7500
12	80	25	14	9	14	5	147	7350
13	94	20	11	10	14	4	153	7650
14	90	18	16	6	13	3	146	7300
15	83	26	18	11	8	4	150	7500
16	81	22	13	9	17	4	146	7300
17	92	17	15	14	8	9	155	7750
18	85	22	14	10	11	7	149	7450
19	88	15	15	6	18	7	149	7450
20	102	12	15	9	10	7	155	7750
21	95	14	17	13	9	5	153	7650
22	80	15	18	13	17	5	148	7400
23	82	20	24	10	6	2	144	7200
24	84	17	15	14	10	10	150	7500
25	97	17	13	7	13	4	151	7550
26	81	17	20	9	13	6	146	7300
27	91	13	17	13	10	7	151	7550
28	83	27	12	8	15	3	148	7400
29	93	21	13	13	9	5	154	7700
30	86	16	21	6	11	3	143	7150
31	81	19	21	14	10	1	146	7300
32	89	14	15	9	14	7	148	7400
33	98	14	13	7	16	5	153	7650
34	104	19	11	9	11	3	157	7850
35	99	18	13	11	10	2	153	7650
36	95	15	18	10	7	4	149	7450
37	101	14	11	9	15	6	156	7800
38	107	18	13	6	6	4	154	7700
39	100	15	18	11	7	4	155	7750
40	81	15	17	16	13	8	150	7500
41	85	22	21	8	9	3	148	7400
42	88	16	19	16	6	6	151	7550
43	85	18	15	11	12	6	147	7350
44	95	20	11	13	11	2	152	7600
45	90	17	16	11	14	2	150	7500
46	78	26	20	6	12	3	145	7250
47	86	14	16	10	15	8	149	7450
48	83	18	17	10	15	6	149	7450
49	86	17	18	9	16	1	147	7350
50	95	15	13	12	14	3	152	7600

Tabla 3 – Parte 1 con las primeras 50 simulaciones.

51	86	16	16	10	15	2	145	7250
52	100	20	15	7	9	3	154	7700
53	94	10	15	17	15	5	156	7800
54	80	20	18	7	12	5	142	7100
55	98	13	17	10	7	5	150	7500
56	98	19	17	6	8	5	153	7650
57	93	8	17	7	17	3	145	7250
58	85	17	20	12	11	2	147	7350
59	87	15	24	10	10	5	151	7550
60	97	15	13	9	14	6	154	7700
61	88	6	23	10	17	3	147	7350
62	87	18	21	7	6	9	148	7400
63	82	11	22	7	15	6	143	7150
64	90	14	19	10	13	4	150	7500
65	89	16	17	12	12	3	149	7450
66	79	16	22	11	13	7	148	7400
67	82	17	16	8	14	4	141	7050
68	82	15	25	13	6	5	146	7300
69	83	18	21	8	13	4	147	7350
70	102	17	16	8	6	2	151	7550
71	100	13	19	8	9	3	152	7600
72	88	20	17	10	10	6	151	7550
73	88	15	15	10	14	4	146	7300
74	80	17	22	10	15	4	148	7400
75	90	20	17	5	15	2	149	7450
76	94	26	15	11	7	1	154	7700
77	106	15	11	10	9	2	153	7650
78	89	22	18	8	9	8	154	7700
79	96	13	17	7	12	5	150	7500
80	103	8	20	10	11	6	158	7900
81	83	15	17	9	16	2	142	7100
82	90	18	20	6	12	2	148	7400
83	98	16	18	7	8	6	153	7650
84	93	19	16	11	8	5	152	7600
85	97	16	19	4	11	3	150	7500
86	100	14	10	7	14	5	150	7500
87	89	17	18	3	13	5	145	7250
88	86	21	19	8	12	5	151	7550
89	86	22	18	7	12	3	148	7400
90	89	11	20	12	13	6	151	7550
91	67	20	19	5	19	5	135	6750
92	86	15	18	8	12	4	143	7150
93	89	12	20	11	15	3	150	7500
94	79	15	22	13	12	9	150	7500
95	81	19	21	5	10	6	142	7100
96	91	17	20	11	10	4	153	7650
97	84	15	16	7	15	10	147	7350
98	80	16	18	6	17	4	141	7050
99	87	17	19	14	10	3	150	7500
100	99	12	17	7	12	5	152	7600

Tabla 4 – Parte 2 siguientes 50 simulaciones.

12. ANEXO: CASO 1 SEGUNDA VALIDACIÓN

Simulación	Sábanas Blancas	Colchas	Toallas	Metidas	Mantas	Pijamas	Salidas	Total
N	Tipo1	Tipo2	Tipo3	Tipo4	Tipo5	Tipo6	NOut	En Kg
1	64	18	11	7	17	7	124	6200
2	62	21	22	5	10	4	124	6200
3	68	13	20	12	8	3	124	6200
4	58	19	18	15	9	5	124	6200
5	73	18	16	4	8	5	124	6200
6	56	25	20	9	11	4	125	6250
7	58	17	17	11	16	5	124	6200
8	61	18	11	10	13	11	124	6200
9	65	25	13	6	10	5	124	6200
10	71	14	13	8	16	3	125	6250
11	66	16	18	10	11	3	124	6200
12	60	25	12	6	15	6	124	6200
13	60	24	13	6	16	5	124	6200
14	68	23	12	6	11	4	124	6200
15	59	30	11	11	12	2	125	6250
16	56	26	14	6	15	7	124	6200
17	58	26	8	12	12	8	124	6200
18	66	21	10	5	12	10	124	6200
19	63	19	14	7	15	6	124	6200
20	67	24	8	8	11	6	124	6200
21	75	16	13	7	8	5	124	6200
22	60	16	14	10	16	8	124	6200
23	65	17	14	14	12	2	124	6200
24	60	16	15	13	11	9	124	6200
25	70	18	12	8	10	6	124	6200
26	61	19	14	11	12	7	124	6200
27	70	11	10	10	15	8	124	6200
28	67	21	11	8	11	6	124	6200
29	63	24	10	7	16	4	124	6200
30	66	19	15	7	14	4	125	6250
31	61	20	19	10	13	2	125	6250
32	69	17	12	9	7	10	124	6200
33	70	18	11	6	14	6	125	6250
34	72	23	8	5	12	4	124	6200
35	71	24	10	8	8	3	124	6200
36	74	20	11	6	10	3	124	6200
37	72	15	6	6	16	9	124	6200
38	80	16	13	5	7	3	124	6200
39	73	18	14	7	7	6	125	6250
40	54	21	12	15	14	8	124	6200
41	63	19	19	8	11	4	124	6200
42	63	22	12	12	10	6	125	6250
43	62	21	17	5	15	4	124	6200
44	65	24	6	13	15	1	124	6200
45	64	22	14	8	12	4	124	6200
46	61	20	14	12	11	6	124	6200
47	68	16	10	10	13	7	124	6200
48	58	21	13	9	17	6	124	6200
49	65	18	17	5	18	1	124	6200
50	70	18	8	7	16	5	124	6200

Tabla 15 – Primer Caso, Resultados del 1 hasta el 50.

48	58	21	13	9	17	6	124	6200
49	65	18	17	5	18	1	124	6200
50	70	18	8	7	16	5	124	6200
51	60	22	12	10	19	2	125	6250
52	61	29	14	7	6	7	124	6200
53	67	14	16	5	16	7	125	6250
54	61	22	13	12	9	7	124	6200
55	73	15	14	8	8	6	124	6200
56	66	24	12	9	8	5	124	6200
57	70	15	14	5	18	2	124	6200
58	59	23	15	9	16	3	125	6250
59	62	20	19	7	11	5	124	6200
60	71	19	10	6	12	7	125	6250
61	61	18	16	9	16	4	124	6200
62	64	21	17	9	5	8	124	6200
63	64	16	16	9	14	5	124	6200
64	65	20	12	9	15	3	124	6200
65	66	17	15	7	16	3	124	6200
66	54	18	21	7	17	8	125	6250
67	66	18	14	7	12	7	124	6200
68	63	16	18	12	10	5	124	6200
69	57	25	17	6	15	4	124	6200
70	76	17	13	7	9	2	124	6200
71	71	21	13	7	9	4	125	6250
72	72	18	14	6	10	5	125	6250
73	64	21	11	5	18	5	124	6200
74	58	17	20	6	16	7	124	6200
75	71	16	14	8	13	2	124	6200
76	67	20	15	8	13	1	124	6200
77	78	20	7	6	12	2	125	6250
78	76	13	10	9	9	7	124	6200
79	73	19	10	9	9	5	125	6250
80	75	12	12	10	12	3	124	6200
81	66	21	13	2	18	4	124	6200
82	66	22	8	11	15	2	124	6200
83	73	19	10	9	10	3	124	6200
84	64	25	10	9	11	5	124	6200
85	72	18	15	5	12	2	124	6200
86	68	24	6	5	14	7	124	6200
87	66	21	15	6	12	5	125	6250
88	67	17	13	10	13	4	124	6200
89	65	22	13	9	12	3	124	6200
90	65	14	17	6	16	6	124	6200
91	51	19	19	11	15	9	124	6200
92	68	13	17	10	9	7	124	6200
93	65	18	10	10	18	4	125	6250
94	58	16	19	6	15	10	124	6200
95	60	24	16	7	9	8	124	6200
96	64	21	12	11	12	4	124	6200
97	59	22	8	11	13	11	124	6200
98	52	28	14	6	19	5	124	6200
99	63	17	17	14	9	4	124	6200
100	69	18	17	7	9	5	125	6250

Tabla 16 – Primer Caso, Resultados del 50 hasta el 100.

13. ANEXO: CASO 2 SEGUNDA VALIDACIÓN

Simulación	Sábanas Blancas	Colchas	Toallas	Metidas	Mantas	Pijamas	Salidas	Total
N	Tipo1	Tipo2	Tipo3	Tipo4	Tipo5	Tipo6	NOut	En Kg
1	90	5	11	7	19	8	140	7000
2	91	16	17	3	8	5	140	7000
3	94	9	19	7	7	4	140	7000
4	86	12	24	6	6	6	140	7000
5	102	11	14	1	7	5	140	7000
6	89	16	17	3	10	5	140	7000
7	84	14	15	7	13	7	140	7000
8	90	7	13	10	8	13	141	7050
9	101	8	10	5	10	6	140	7000
10	96	9	9	12	11	3	140	7000
11	90	10	15	7	13	5	140	7000
12	95	8	12	4	14	7	140	7000
13	92	11	12	4	16	5	140	7000
14	96	9	14	6	9	6	140	7000
15	96	6	21	6	9	3	141	7050
16	93	10	14	3	13	7	140	7000
17	92	8	14	5	12	9	140	7000
18	94	8	12	7	9	10	140	7000
19	92	5	18	3	14	8	140	7000
20	99	5	15	2	11	8	140	7000
21	99	5	14	9	9	5	141	7050
22	85	8	14	9	15	9	140	7000
23	90	10	23	7	8	2	140	7000
24	89	8	12	11	10	11	141	7050
25	100	8	11	4	11	6	140	7000
26	90	8	14	8	13	7	140	7000
27	93	5	16	5	13	8	140	7000
28	97	7	14	4	13	6	141	7050
29	98	9	10	12	7	5	141	7050
30	94	9	17	4	12	4	140	7000
31	91	12	17	4	13	3	140	7000
32	97	5	17	4	8	10	141	7050
33	97	8	11	5	12	7	140	7000
34	105	9	8	6	7	5	140	7000
35	103	10	10	5	9	3	140	7000
36	101	9	13	5	9	3	140	7000
37	97	6	8	6	13	10	140	7000
38	108	9	9	3	7	4	140	7000
39	100	11	11	8	4	6	140	7000
40	84	8	20	9	10	9	140	7000
41	92	12	17	6	8	5	140	7000
42	95	6	15	9	8	7	140	7000
43	90	12	12	7	13	6	140	7000
44	100	7	13	5	14	1	140	7000
45	97	8	13	6	12	4	140	7000
46	90	13	17	5	9	6	140	7000
47	93	8	13	3	15	8	140	7000
48	91	5	16	7	15	6	140	7000
49	91	12	13	6	16	2	140	7000
50	95	9	7	11	12	6	140	7000

Tabla 19 -Segundo Caso, Resultados del 1 hasta el 50.

51	92	9	16	5	16	2	140	7000
52	102	7	14	4	6	7	140	7000
53	89	8	10	11	15	7	140	7000
54	90	9	20	3	9	9	140	7000
55	96	8	16	7	6	7	140	7000
56	99	11	11	5	8	6	140	7000
57	93	8	14	5	17	3	140	7000
58	90	9	18	10	10	3	140	7000
59	93	10	14	10	9	5	141	7050
60	100	3	13	7	10	7	140	7000
61	87	4	22	8	16	4	141	7050
62	92	9	18	5	5	11	140	7000
63	90	5	19	6	13	7	140	7000
64	97	7	13	7	12	4	140	7000
65	90	9	15	9	13	4	140	7000
66	85	11	15	7	15	8	141	7050
67	94	7	16	4	12	7	140	7000
68	87	11	22	8	7	5	140	7000
69	89	8	21	6	12	4	140	7000
70	103	8	17	3	7	2	140	7000
71	103	5	16	4	8	4	140	7000
72	94	8	15	4	12	7	140	7000
73	95	6	13	7	14	6	141	7050
74	84	11	19	6	12	8	140	7000
75	97	8	17	3	14	2	141	7050
76	100	12	11	9	8	1	141	7050
77	109	4	11	5	9	2	140	7000
78	96	8	16	4	9	7	140	7000
79	103	1	18	3	10	6	141	7050
80	99	5	16	6	9	5	140	7000
81	94	5	15	5	17	4	140	7000
82	96	8	16	6	12	2	140	7000
83	103	7	15	2	10	3	140	7000
84	97	9	15	7	7	5	140	7000
85	101	9	14	1	12	4	141	7050
86	104	6	8	3	12	7	140	7000
87	98	6	16	2	13	5	140	7000
88	95	5	19	4	12	5	140	7000
89	96	8	19	3	11	3	140	7000
90	90	7	15	5	16	7	140	7000
91	81	16	15	4	16	9	141	7050
92	93	13	12	5	10	7	140	7000
93	90	6	16	9	15	4	140	7000
94	82	12	15	5	14	12	140	7000
95	94	7	21	3	6	9	140	7000
96	95	11	13	9	8	4	140	7000
97	88	8	17	3	13	11	140	7000
98	90	7	16	6	16	5	140	7000
99	91	8	20	9	8	4	140	7000
100	97	8	15	4	11	6	141	7050

Tabla 20-Segundo Caso, Resultados del 50 hasta el 100.

14. ANEXO: CASO 3 SEGUNDA VALIDACIÓN

Simulación	Sábanas Blancas	Colchas	Toallas	Metidas	Mantas	Pijamas	Salidas	Total
N	Tipo1	Tipo2	Tipo3	Tipo4	Tipo5	Tipo6	NOut	En Kg
1	86	4	14	8	13	11	136	6800
2	84	13	21	6	6	7	137	6850
3	87	4	27	7	7	4	136	6800
4	74	13	30	7	5	7	136	6800
5	94	7	21	2	7	5	136	6800
6	82	8	27	4	8	7	136	6800
7	77	10	21	8	11	9	136	6800
8	79	9	18	10	4	16	136	6800
9	96	3	17	5	10	5	136	6800
10	88	6	16	12	8	6	136	6800
11	86	4	21	8	11	6	136	6800
12	82	13	15	6	10	10	136	6800
13	87	9	12	7	14	7	136	6800
14	95	5	16	6	8	7	137	6850
15	84	12	19	9	7	5	136	6800
16	86	7	18	5	12	8	136	6800
17	87	6	15	8	7	13	136	6800
18	89	7	15	7	9	10	137	6850
19	86	6	17	6	12	10	137	6850
20	93	4	15	5	10	9	136	6800
21	95	1	17	9	7	7	136	6800
22	79	5	19	10	12	12	137	6850
23	80	8	30	8	7	3	136	6800
24	83	5	17	11	9	11	136	6800
25	92	7	15	5	7	10	136	6800
26	85	6	18	8	10	9	136	6800
27	87	4	18	6	12	9	136	6800
28	86	9	16	6	9	10	136	6800
29	87	10	15	12	7	5	136	6800
30	87	8	21	6	10	4	136	6800
31	81	11	23	5	14	2	136	6800
32	91	4	16	7	7	11	136	6800
33	92	5	13	7	9	10	136	6800
34	99	8	11	7	5	6	136	6800
35	95	9	14	7	6	5	136	6800
36	95	7	17	6	7	4	136	6800
37	90	6	10	7	13	10	136	6800
38	102	2	17	4	7	4	136	6800
39	93	8	17	8	4	6	136	6800
40	79	5	17	16	8	11	136	6800
41	81	14	21	7	7	6	136	6800
42	87	7	18	10	7	7	136	6800
43	83	7	19	9	8	10	136	6800
44	93	7	13	9	13	2	137	6850
45	91	5	19	6	7	8	136	6800
46	81	12	24	6	7	6	136	6800
47	85	10	15	5	12	10	137	6850
48	82	6	19	8	13	8	136	6800

Tabla 21 -Tercer Caso, Resultados del 1 hasta el 50.

49	83	9	20	7	12	6	137	6850
50	91	5	12	10	11	7	136	6800
51	87	7	15	9	15	3	136	6800
52	91	11	15	6	5	8	136	6800
53	85	2	16	12	13	8	136	6800
54	84	7	22	6	6	11	136	6800
55	93	6	17	9	4	8	137	6850
56	91	10	16	5	8	6	136	6800
57	90	2	19	5	17	3	136	6800
58	85	8	18	12	7	6	136	6800
59	85	7	22	8	6	8	136	6800
60	91	7	14	7	7	10	136	6800
61	84	2	23	9	14	5	137	6850
62	90	3	23	6	3	12	137	6850
63	86	4	22	6	9	10	137	6850
64	92	3	16	9	10	6	136	6800
65	86	7	19	10	12	3	137	6850
66	76	8	22	7	15	8	136	6800
67	86	8	17	6	11	8	136	6800
68	82	4	29	9	6	6	136	6800
69	85	6	23	6	12	4	136	6800
70	100	4	18	5	7	2	136	6800
71	98	4	18	5	6	5	136	6800
72	88	9	16	5	9	9	136	6800
73	87	7	16	7	11	8	136	6800
74	79	7	23	7	10	10	136	6800
75	90	7	20	4	12	4	137	6850
76	91	10	16	10	7	2	136	6800
77	101	5	11	8	9	2	136	6800
78	88	8	18	6	8	8	136	6800
79	93	7	15	5	10	6	136	6800
80	96	1	19	7	6	7	136	6800
81	85	9	17	4	15	6	136	6800
82	90	7	19	6	12	2	136	6800
83	96	8	17	2	9	4	136	6800
84	86	12	16	10	6	6	136	6800
85	93	7	22	1	11	3	137	6850
86	96	8	8	5	11	8	136	6800
87	91	6	19	3	10	7	136	6800
88	85	7	20	7	9	8	136	6800
89	90	7	20	5	10	4	136	6800
90	87	4	19	5	14	7	136	6800
91	74	7	26	5	10	14	136	6800
92	84	8	21	6	6	11	136	6800
93	84	5	19	10	14	5	137	6850
94	77	6	21	7	14	11	136	6800
95	88	5	23	5	6	9	136	6800
96	88	7	19	10	7	5	136	6800
97	85	5	17	5	12	12	136	6800
98	82	9	18	6	12	9	136	6800
99	84	5	23	12	7	5	136	6800
100	89	6	19	5	11	7	137	6850

Tabla 22 -Tercer Caso, Resultados del 50 hasta el 100.