

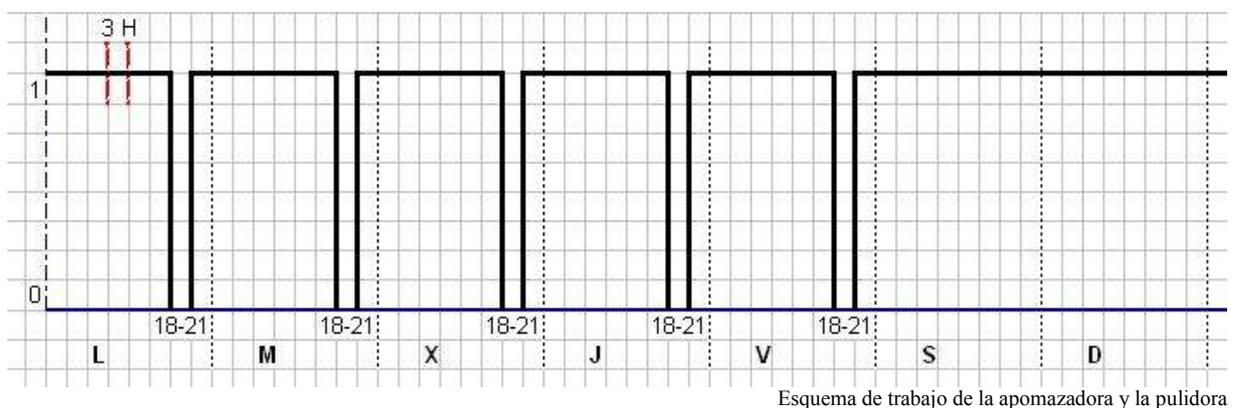
4. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ya se ha explicado de manera general lo que es el programa ARENA[®] en cuanto a sus conceptos esenciales. Resulta inmediato tras su definición identificar en el modelo a las tablas o bloques –material a tratar al fin y al cabo- con las entidades, como así las define ARENA[®], a las secuencias según los entiende ARENA[®] con las etapas por las que pasa el producto desde que inicia su andadura en los procesos hasta que se da por producto ya elaborado, a las variables que caracterizan al sistema, que el modelador las introduce en el modelo como parámetros, y a las variables del sistema, que son las que el mismo simulador calcula (y que por tanto de principio son incógnitas). Así pues lo que queda es definir las diferentes etapas que van a ocurrir y los parámetros bajo los que van a funcionar. La versión de ARENA[®] utilizada para modelar y simular es la 5.00.

A continuación se va a explicar el modelo de funcionamiento de la fábrica por módulos o grupos de bloques, pero antes van a ser explicados algunos de los parámetros que van a ser comunes para todas las simulaciones.

HORARIO DE TRABAJO

Debido a factores externos, la empresa tiene en su contrato con la compañía distribuidora de electricidad una tarifa con discriminación horaria, por la que durante 3 horas en los días laborables existe tarifa punta y se decide parar las máquinas que se nutran de energía eléctrica, no así las que consumen gas.



En el sistema actual sólo la pulidora-apomazadora se nutre de energía eléctrica, así que dicha máquina será la que siga este horario, y esta incidencia será reflejada en el modelo. La línea de resinado funciona con gas y su horario de trabajo son 12 horas diarias.

EXISTENCIA DE FALLOS EN EL PROCESO

Las máquinas no funcionan perennemente sino que a veces detienen su actividad debido a fallos en las mismas o bien en el material a procesar. Estos fallos en el caso que nos ocupa se resumen en 3 tipos:

- Fallos solventables: Incluye paradas por mantenimiento, cambios de pastillas de abrasivo, cambios de lubricantes y resto de consumibles, limpieza de drenajes... Se emplea un tiempo tal que supone el 10% del tiempo de funcionamiento de las máquinas. Se modela como un fallo que ocurre cada aproximadamente 90 horas y se tardan 10 horas en ser solventados dichos problemas.
- Fallos no solventables: Están incluidos los fallos debidos a la ruptura de la máquina, de sus mecanismos, de tal manera que su reparación sólo puede ser llevada a cabo por personal cualificado y contratado del exterior. Suponen el 5% del tiempo de funcionamiento de las máquinas y se modela como un fallo que ocurre cada 95 días y se tardan 5 días en solucionar el problema.
- Material defectuoso: Este fallo se debe a que el material que llega no está debidamente serrado, repercutiendo en que a los materiales sea preciso repetirles alguno de los procesos o incluso que se pierda el material por roturas. Entre re-elaboraciones y pérdidas suponen una de cada 20 tablas o uno de cada 20 lotes de tablas y en el modelo está reflejado que en esa proporción suponga el fallo una pérdida de tiempo equivalente al que se emplea en ser elaboradas.

El aspecto de fallos va asociado al recurso, es decir, en nuestro caso a las máquinas. Así que a cada máquina se le asigna tanto horarios de trabajo como fallos.

Una vez comentada la incidencia de los fallos y los horarios lo que queda es explicar las diferentes etapas del modelo e identificarlas con la situación real. En los diagramas que se muestran a continuación se explican los flujos y procesos característicos de la fábrica:

Figuras 1,2 y 3

Llegan dos tipos de tablas atendiendo a su origen, las tablas propias y las tablas de terceros. Al año se tratan 160.000 m² de tablas propias (cada tabla son 5 m²) Las tablas propias siguen o bien la secuencia Apomazado-resinado-pulido o bien sólo pulido en el caso de piedra-jabón; al año unos 100.000 m² siguen la primera secuencia y unos 60.000 m² siguen la segunda. Las tablas de terceros se tratan por pedido individual de cada proceso y al año son

unos 205.000 m², 113.000 m² de tablas pulidas y unos 92.000 m² de tablas apomazados. Debido a la obsolescencia de la línea de resinado no se obtienen pedidos para esta actividad. Las tablas propias llegan con una cadencia de 15 tablas (un número característico para un lote, como así se define el parámetro en el modelo) cada 240 minutos y las de terceros 15 tablas cada 180 minutos. Así es como se definen en el módulo *Create* ambas clases de tablas. Luego se ensambla con un módulo *Batch* para dar a lo resultante el tratamiento de lote (15 tablas se transforman en 1 lote), a continuación se añade como atributo y pasa a la estación de inicio (los módulos *Station* son referencias dentro de las secuencias del proceso para las entidades).

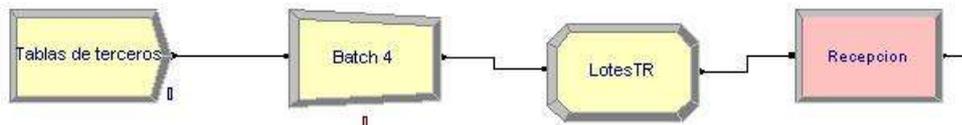
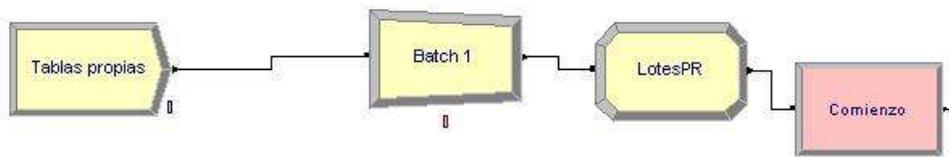


Figura 1: Punto de partida de las tablas en el proceso

Figura 2: Creación de tablas propias

Figura 3: Creación de tablas de terceros

Figuras 4, 5 y 6

Estas figuras muestran cómo, tras las estaciones de partida de las tablas según su procedencia, se define mediante módulos *Assign* cuál va a ser la secuencia de elaboración de las tablas. Anteriormente se ha indicado cuántas tablas se destinaban a según qué secuencias, así que sólo queda modelarlo mediante atributos la secuencia que va a seguir cada cual, y un módulo *Decide* para repartir los porcentajes de cada lote. Por último se separan los lotes de nuevo en tablas y se especifica con el módulo *Route* que van a seguir una ruta que les marcan sus atributos. Así cada lote llevará marcado como atributo el camino que habrá de seguir hasta que se considere como producto terminado.

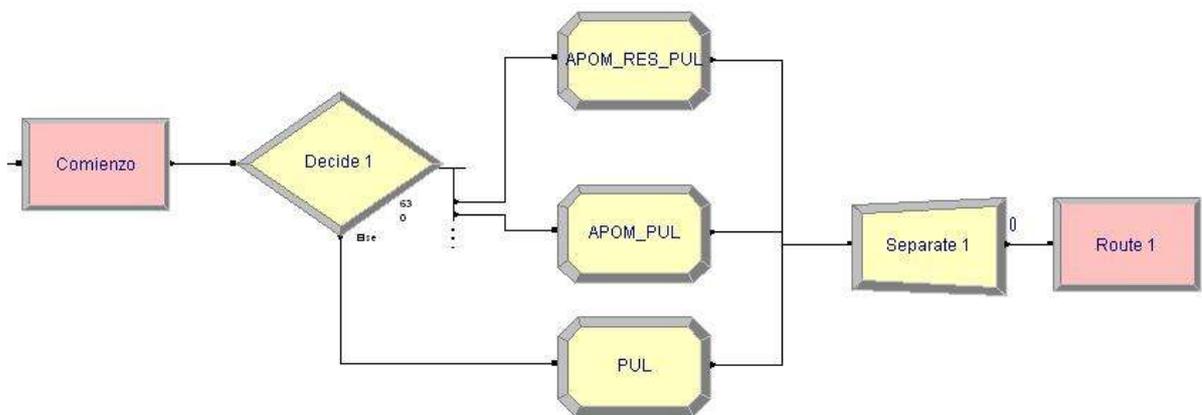


Figura 4: Rutas que siguen las tablas propias

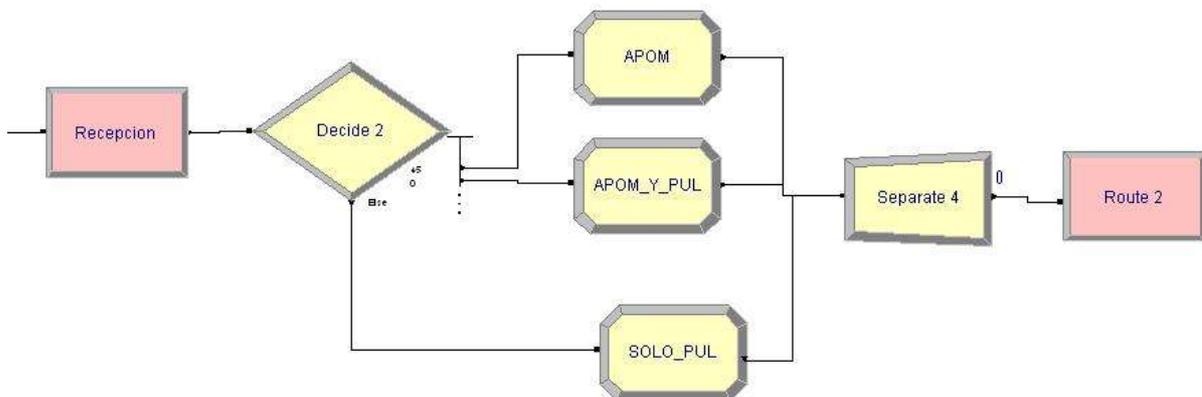


Figura 5: Rutas que siguen las tablas de terceros



Figura 6: Fin del proceso

Por último en la figura 6 aparece la última estación antes del *Dispose*, final del proceso.

Figuras 7, 8 y 9

Una vez establecidas las rutas por las que van a pasar las tablas o lotes de tablas lo que queda es modelar los procesos por los que tienen que pasar. En las figuras mencionadas aparecen los aspectos asociados a la máquina pulidora, las etapas del pulido y apomazado. Ambas etapas se modelan de la siguiente manera: Comienzan en la estación donde el atributo de la secuencia les diga a qué operación se tienen que someter; de nuevo mediante un *Batch* se agrupan en lotes, y como tales pasan por el proceso de pulido o de apomazado, tras el cual se vuelven a separar para tomar entidad de tablas y de ahí ya están listas otra vez para seguir su ruta establecida. Adicionalmente se colocan los módulos *Record* para registrar el número de tablas.

La razón por la que se agrupan las tablas en lotes es para establecer entre éstos un orden de prioridad en función del número de procesos que hayan pasado a la hora de compartir el recurso “*Maq. Apomazado*”. El horario de funcionamiento de este recurso es el descrito anteriormente.

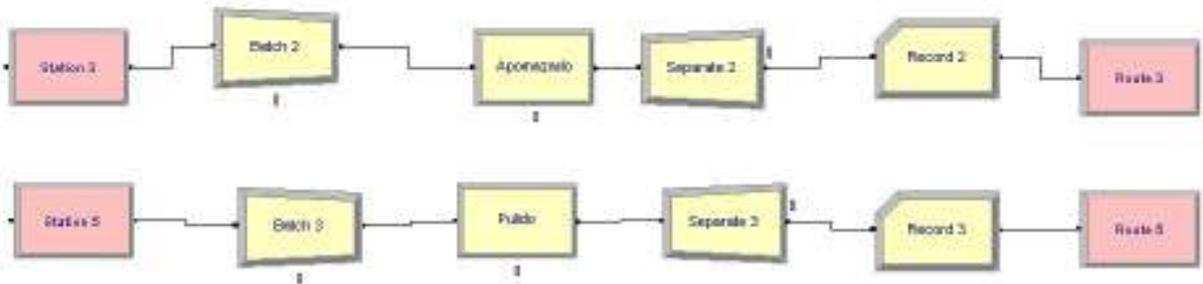


Figura 7: Procesos en máquina apomazadora / pulidora



Figura 8. Apomazado, 2,4 minutos/tabla

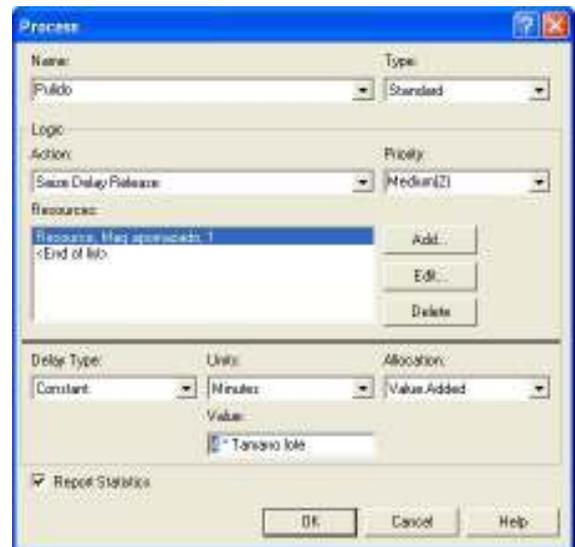


Figura 9: Pulido, 4 minutos/tabla

Figuras 10, 11 y 12

En éstas últimas figuras aparecen los aspectos acerca de la línea de resinado. Las tablas no llegan a agruparse para tomar entidad de lote ya que el recurso “Maq. Resinado” no se comparte para otras tareas. En esta fase tienen lugar dos etapas, el resinado propiamente dicho y el secado. El resinado funciona durante 12 horas al día de manera continua, y el secado se produce en 8 de las horas restantes, y de esa manera se modela. El *Hold* es un módulo que sirve para mantener a las tablas dentro de lo que es la línea de resinado hasta que comience un nuevo ciclo de trabajo diario.

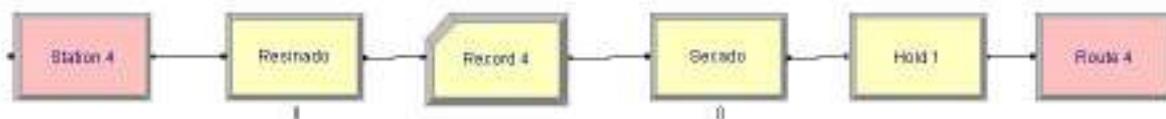


Figura 10



Figura 11



Figura 12

Un resumen de los procesos importantes en el proceso es el que se muestra en la siguiente tabla:

<u>Proceso</u>	<u>Tipo</u>	<u>Retraso (Duración)</u>	<u>Recurso</u>
Apomazado	Seize-Delay-Release	2.4 minutos / tabla	Pulidora
Pulido	Seize-Delay-Release	4 minutos / tabla	Pulidora
Resinado	Seize-Delay-Release	12 minutos / tabla	Línea de Resinado
Secado	Delay	8 horas	--

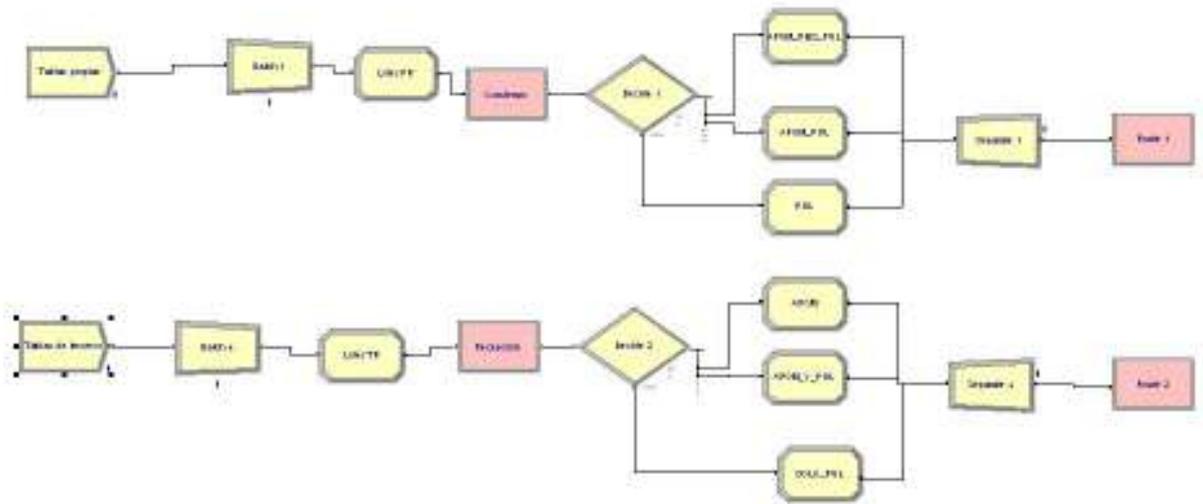


Figura 13: Representa la globalidad del proceso

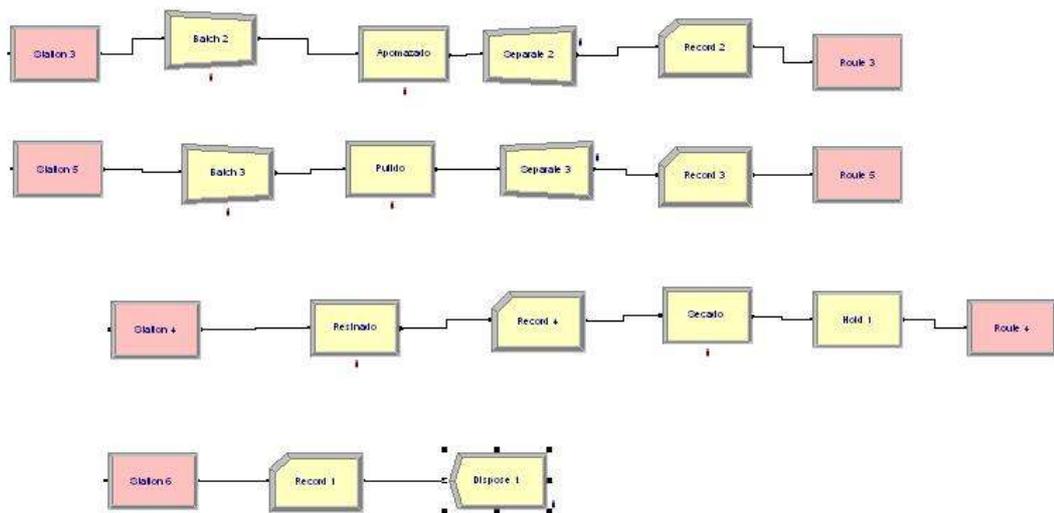


Figura 14: Representa el total de los procesos.

Una vez descrito el modelo de fábrica que se tiene en la actualidad, se van a realizar dos pruebas de simulación sobre el mismo. La diferencia entre ellas va a estar en la inclusión de los fallos de las máquinas. En la primera de ellas no van a ser contemplados y en la segunda sí van a ser incorporados. Del *output* que nos proporciona el simulador van a ser extraídos los datos que interesan de cara a comparar con la situación real y a ser analizados.

4.1. Simulación del modelo de funcionamiento actual

Una vez completado el modelo se ejecutan los dos experimentos mediante el programa de simulación. Debido al tiempo y los recursos de la computadora empleada se ha ejecutado la simulación para 32 días, dos de los cuales se consideran de calentamiento o puesta a punto y no entran dentro de los resultados mostrados, que serían por tanto de 30 días. Después se extrapolan los resultados para 350 días al año de funcionamiento.

ARENA Simulation Results Familia – License: EVALUATION

Prueba 1

Fallos en máquinas no contemplados

Replication ended at time : 768.0
Statistics were cleared at time: 48.0
Statistics accumulated for time: **720.0**

TALLY VARIABLES					
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Entity 1.VATime	3.3504	.24026	.60000	9.8000	6180
Entity 1.NVATime	.00000	.00000	.00000	.00000	6180
Entity 1.WaitTime	8.1548	1.0322	.00000	47.800	6180
Entity 1.TranTime	.00000	.00000	.00000	.00000	6180
Entity 1.OtherTime	.00000	.00000	.00000	.00000	6180
Entity 1.TotalTime	11.505	1.2172	.60000	57.600	6180
Batch 2.Queue.WaitingT	.00000	.00000	.00000	.00000	3495
Batch 3.Queue.WaitingT	1.0597	.34751	.00000	24.000	4620
Pulido.Queue.WaitingTi	1.4348	(Insuf)	.00000	5.0000	304
Batch 4.Queue.WaitingT	.00000	.00000	.00000	.00000	3615
Apomazado.Queue.Waitin	.86466	(Insuf)	.00000	3.6000	232
Resinado.Queue.Waiting	13.918	(Corr)	.00000	38.800	1749
Hold 1.Queue.WaitingTi	7.9635	(Corr)	.60000	15.800	1794
Batch 1.Queue.WaitingT	.00000	.00000	.00000	.00000	2715

DISCRETE-CHANGE VARIABLES					
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Entity 1.WIP	107.58	(Corr)	31.000	217.00	217.00
Maq resinado.NumberBus	.48583	(Corr)	.00000	1.0000	.00000
Maq resinado.NumberSch	.50000	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Maq resinado.Utilizati	.48583	(Corr)	.00000	1.0000	.00000
Maq apomazado.NumberBu	.61417	(Corr)	.00000	1.0000	1.0000
Maq apomazado.NumberSc	.90778	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
Maq apomazado.Utilizat	.61417	(Corr)	.00000	1.0000	1.0000
Batch 2.Queue.NumberIn	.00000	(Insuf)	.00000	15.000	.00000
Batch 3.Queue.NumberIn	6.8000	(Insuf)	.00000	29.000	9.0000
Pulido.Queue.NumberInQ	.60583	(Insuf)	.00000	5.0000	4.0000
Batch 4.Queue.NumberIn	.00000	(Insuf)	.00000	15.000	.00000
Apomazado.Queue.Number	.27861	(Insuf)	.00000	2.0000	1.0000
Resinado.Queue.NumberI	36.759	(Corr)	.00000	115.00	111.00
Hold 1.Queue.NumberInQ	19.130	2.7772	.00000	61.000	.00000
Batch 1.Queue.NumberIn	.00000	(Insuf)	.00000	15.000	.00000

COUNTERS			
Identifier	Count	Limit	
N Resinado	1749	Infinite	
Tablas A_P Propias	0	Infinite	
N Apomazado	3480	Infinite	
Tablas A Terceros	1635	Infinite	
Tablas A_R_P Propias	1725	Infinite	
N Pulido	4545	Infinite	
Tablas P Propias	855	Infinite	
Tablas A_P Terceros	0	Infinite	
Tablas P Terceros	1965	Infinite	

OUTPUTS	
Identifier	Value
Entity 1.NumberIn	7293.0
Entity 1.NumberOut	7137.0
Maq resinado.TimesUsed	1749.0
Maq resinado.ScheduledU	.97167
Maq apomazado.TimesUsed	536.00
Maq apomazado.Scheduled	.67656
System.NumberOut	6180.0

Simulation run time: 0.05 minutes.
Simulation run complete.

Prueba 2

Fallos en máquinas contemplados

Replication ended at time : 768.0
Statistics were cleared at time: 48.0
Statistics accumulated for time: **720.0**

TALLY VARIABLES					
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Entity 1.VATime	3.1878	.29678	.60000	9.8000	6195
Entity 1.NVATime	.00000	.00000	.00000	.00000	6195
Entity 1.WaitTime	10.380	1.9128	.00000	56.450	6195
Entity 1.TranTime	.00000	.00000	.00000	.00000	6195
Entity 1.OtherTime	.00000	.00000	.00000	.00000	6195
Entity 1.TotalTime	13.568	2.1261	.60000	66.250	6195
Batch 2.Queue.WaitingT	.00000	.00000	.00000	.00000	3495
Batch 3.Queue.WaitingT	.31894	(Corr)	.00000	24.000	4515
Pulido.Queue.WaitingTi	3.1162	(Insuf)	.00000	15.568	296
Batch 4.Queue.WaitingT	.00000	.00000	.00000	.00000	3615
Apomazado.Queue.Waitin	2.6125	(Insuf)	.00000	13.568	232
Resinado.Queue.Waiting	17.241	(Corr)	.00000	44.600	1624
Hold 1.Queue.WaitingTi	8.4179	(Corr)	.40000	15.800	1684
Batch 1.Queue.WaitingT	.00000	.00000	.00000	.00000	2715

DISCRETE-CHANGE VARIABLES					
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Entity 1.WIP	125.86	(Corr)	31.000	267.00	233.00
Maq resinado.NumberBus	.45111	.05202	.00000	1.0000	.00000
Maq resinado.NumberSch	.50000	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Maq resinado.Utilizati	.45111	.05202	.00000	1.0000	.00000
Maq apomazado.NumberBu	.60417	(Corr)	.00000	1.0000	1.0000
Maq apomazado.NumberSc	.90611	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
Maq apomazado.Utilizat	.60417	(Corr)	.00000	1.0000	1.0000
Batch 2.Queue.NumberIn	.00000	(Insuf)	.00000	15.000	.00000
Batch 3.Queue.NumberIn	2.0000	(Insuf)	.00000	22.000	4.0000
Pulido.Queue.NumberInQ	1.2811	.37087	.00000	9.0000	5.0000
Batch 4.Queue.NumberIn	.00000	(Insuf)	.00000	15.000	.00000

Apomazado.Queue.Number	.84181	(Insuf)	.00000	5.0000	1.0000
Resinado.Queue.NumberI	41.867	(Corr)	.00000	116.00	116.00
Hold 1.Queue.NumberInQ	18.870	2.2526	.00000	60.000	.00000
Batch 1.Queue.NumberIn	.00000	(Insuf)	.00000	15.000	.00000

COUNTERS			
Identifier	Count	Limit	
N Resinado	1624	Infinite	
Tablas A_P Propias	0	Infinite	
N Apomazado	3465	Infinite	
Tablas A Terceros	1755	Infinite	
Tablas A_R_P Propias	1620	Infinite	
N Pulido	4440	Infinite	
Tablas P Propias	990	Infinite	
Tablas A_P Terceros	0	Infinite	
Tablas P Terceros	1830	Infinite	

OUTPUTS	
Identifier	Value
Entity 1.NumberIn	7286.0
Entity 1.NumberOut	7144.0
Maq resinado.TimesUsed	1624.0
Maq resinado.ScheduledU	.90222
Maq apomazado.TimesUsed	528.00
Maq apomazado.Scheduled	.66677
System.NumberOut	6195.0

Simulation run time: 0.07 minutes.
Simulation run complete.

Y a continuación se muestran los resultados anuales que tienen lugar en la fábrica, para posteriormente ser comparados con los datos relevantes extraídos de las salidas de la simulación:

	m2/año	reparto	tablas/año
	Propias		
A+R+P	100000	63,29%	20000
Sólo P	58000	36,71%	11600
Total	158000		31600
	Terceros		
Pulir	113000	55,12%	22600
Apomazar	92000	44,88%	18400
Total	205000		41000

4.2. Análisis de resultados

A continuación se muestran los datos extraídos del output con los datos de explotación de cada actividad. Por columnas, las que se muestran son:

1. El número de tablas que resulta en la simulación de 30 días
2. Lo que teóricamente debía haber resultado la simulación, que se corresponde con lo que muestran los resultados reales en fábrica.
3. El número de tablas que resulta extrapolando el resultado de 30 días a 350.
4. El índice de utilización de las máquinas; es una salida del programa que expresa el tanto por uno del tiempo total en que las máquinas están produciendo.
5. La ocupación que tienen las máquinas, obtenida de la división entre el índice de utilización y el porcentaje de tiempo que está disponible la máquina (en función de los horarios de funcionamiento de la máquina y de sus paradas por fallos).
6. El índice de colas: representa el número medio de tablas en cola al que está sometido cada proceso, referido siempre a la entidad que se encuentre en cola, sea lote o tabla.
7. Las colas: expresa el número medio de tablas en cola redondeado, extraído a partir del índice de colas.
8. La producción anual en metros cuadrados según el resultado de la simulación.

	30 días	En teoría	350 días	Indice Utilización	Indice Ocupación	Indice Colas	Colas	Anual (m2)
<u>Prueba 1</u>								
Resinado	1749	20000	20405	0,48583	97,17%	36,759	37	102.025
Apomazado	3480	38400	40600	0,61417	67,66%	0,27861	4	203.000
Pulido	4545	54200	53025			0,60583	9	265.125
<u>Prueba 2</u>								
Resinado	1624	20000	18947	0,45111	90,22%	41,867	42	94.733
Apomazado	3465	38400	40425	0,60417	66,72%	0,84181	13	202.125
Pulido	4440	54200	51800			1,2811	19	259.000

De la simulación y los resultados derivados se puede extraer lo siguiente:

- Las desviaciones referidas a producción en el proceso en el peor de los casos rondan el 5% de diferencia respecto de los resultados reales. En cuanto a desviaciones referidas a producción en las máquinas los resultados son aún más exactos, sobre todo debido a que se compensa lo que se produce más de pulido con lo que se produce menos de apomazado o al contrario.

- Los resultados de la simulación respecto a la producción en los que se contemplan fallos de máquinas están por encima de los resultados reales. Sin embargo contemplando las desviaciones en máquinas los resultados están por debajo. Puede deberse a que el modelado de dichos fallos haya sido demasiado estricto, sin embargo el margen de error en el segundo caso es admisible y seguirá siendo contemplado en futuras simulaciones bajo los mismos parámetros para que los resultados sean comedidos o un poco conservadores.
- Las colas indican que las máquinas con mayor utilización son también las que mayor número de tablas mantienen en espera. Por razones relativas al almacenaje de material lo ideal es evitar la mayor cantidad de tablas en las colas.

	Desviación (Prod)	Desviación (Máquina)
<u>Prueba 1</u>		
Resinado	2,03%	2,03%
Apomazado	5,73%	1,11%
Pulido	-2,17%	
<u>Prueba 2</u>		
Resinado	-5,27%	-5,27%
Apomazado	5,27%	-0,40%
Pulido	-4,43%	