

# ESTIMACIÓN DEL LEAD TIME DE PRODUCCIÓN EN EL ÁREA DE EMULSIONES DE UNA EMPRESA DE PINTURA POR MEDIO DE LA SIMULACIÓN

Espinoza, A.; Rojas, A.; Jiménez, M.

Dpto. de Investigación de Operaciones. Escuela de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Estado Carabobo. Venezuela.  
email: andyceg@hotmail.com; adrianitarojas05@hotmail.com; mejb11@hotmail.com

**Resumen:** En esta investigación se construyó un modelo de simulación para estimar el *lead time* de producción de una compañía de pinturas emulsionadas, herramienta que brindará a la organización información precisa sobre cuándo estarán listos los pedidos, para así ofrecer una fecha de entrega al cliente con alta probabilidad de ser cumplida. El modelo se construyó usando el programa ARENA®; para validarlo, se observó el comportamiento del sistema registrándose la cantidad de galones producidos, se recrearon en el modelo y al aplicar el contraste de hipótesis de que la media de la producción era igual a la observada en el sistema; se obtuvo como resultado que no existía evidencia para rechazar la hipótesis, infiriéndose que el modelo es una adecuada representación del sistema. Se ilustra el funcionamiento del modelo estimando para dos pedidos supuestos su lead time y la fecha de entrega que debe ofrecerle la empresa al cliente.

**Palabras clave:** simulación, *lead time* de producción, pinturas emulsionadas.

## ESTIMATED PRODUCTION LEAD TIME IN THE AREA OF AN EMULSION PAINT COMPANY THROUGH SIMULATION

**Abstract:** This research includes the design of a simulation model to estimate the production lead time at an emulsified paint production company. The simulation tool will provide the organization with the required information to determine the lead time to complete orders and offer a more accurate estimated time of delivery. Therefore, there will be a high probability that orders will be delivered within the estimated time. The model was developed using the software ARENA®. In order to validate the model, the production line was observed and the number of gallons produced was registered. This information was simulated in the model with the goal of testing the hypothesis that production mean was that observed in the system. As a result, it was concluded that there was not enough evidence to reject the hypothesis and therefore the model was a suitable representation of the system. The functioning of the system was illustrated by estimating the lead time and delivery time of two orders that the company must provide to a client.

**Key words:** Simulation, lead time, emulsified paints.

## INTRODUCCIÓN

La satisfacción del cliente final es la meta de toda empresa, ya que esto determinará el éxito que los productos o servicios puedan tener en el mercado, brindándole así reconocimiento y una posición consolidada dentro del segmento al que van dirigidos dichos productos o servicios, convirtiéndola en una empresa más competitiva. Los clientes buscan calidad, funcionalidad, relación costo/valor y lo más importante, es que el producto que demandan para satisfacer sus necesidades esté disponible en el momento en que lo requieran, ya que de lo contrario buscará como opción otras marcas existentes en el mercado.

La empresa en estudio, que se encarga de la fabricación de pinturas, incumple casi en el 55% de las veces con la fecha de entrega prometida al cliente, por lo que se observó la necesidad de que la organización cuente con una herramienta que le permita estimar de manera confiable el tiempo que le va a tomar tener listo determinado pedido, para así poder ofrecerle al cliente una fecha de entrega con la cual tenga una altísima probabilidad de cumplir y no seguir ocasionándole molestias.

La simulación es una herramienta ideal para trasladar un sistema real complejo, con sus variables y restricciones, a un modelo computarizado que pueda recrear al sistema sin mayor costo para prever efectos a través del tiempo; con la construcción de un modelo que represente el proceso de producción de pinturas, se podría estimar el lead time de producción y así la organización puede ofrecer fechas de entrega que puede cumplir.

Se hace uso de la simulación para el estudio de este sistema debido a la

complejidad de las operaciones que intervienen en él, su carácter dinámico y el hecho de que intervienen variables de comportamiento aleatorio. Kelton, Sadowski y Sadowski (2002) señalan que debido a la evolución de la computación en las últimas décadas, la simulación se ha convertido en una herramienta poderosa para estudiar este tipo de sistemas, ya que permite construir modelos que representan con mucha exactitud al sistema real; además presenta la gran ventaja de que se puede evaluar el impacto que tienen sobre éste las diferentes alternativas, sin necesidad de alterarlo.

Calderon y Lario (2007) hicieron una recopilación de 40 artículos sobre investigaciones en las que se empleó la simulación como herramienta para el estudio de uno o más de los eslabones de las cadenas de suministros; en ese estudio se evidencia que al menos en la mitad de las investigaciones tratadas se abarcó el estudio de la manufactura.

Vierma (2008), en su trabajo especial de grado desarrolló un modelo de simulación para determinar la secuencia de producción en un taller metalmecánico, para aumentar el nivel de servicio y disminuir los niveles de inventario en proceso.

Este artículo está estructurado en 2 partes, comenzando por el sistema en estudio y los aspectos relevantes de la construcción del modelo, donde el programa empleado es el ARENA® de la Rockwell Software; luego se presenta un experimento para ilustrar la utilidad del modelo construido. Por último se muestran las conclusiones de la investigación.

## SISTEMA EN ESTUDIO

Esta comprendido por el área de emulsiones y el área de envasado, donde se elaboran pinturas a base de agua; esta área posee un flujo constante de productos por ser la pintura emulsionada el tipo de acabado más solicitado por los clientes.

### Productos Elaborados

La empresa ofrece sus productos en una variedad de presentaciones: 1/4 de galón, 1 galón (la de mayor demanda); 2 galones, 4 galones y 5 galones. En cada presentación se tiene tres tipos de clase: A, B y C.

El proceso de elaboración de pinturas emulsionadas se hace por lotes de 500 gls., 1000 gls. o 3000 gls; como se puede observar en la figura 1, consta de seis etapas llevadas a cabo de forma sistemática, primero se hace la dosificación de materias primas líquidas, segundo se dosifican las materias primas sólidas, se lleva a cabo la etapa de dispersión, luego la reducción, el matizado y los ajustes en los casos que sean necesarios, estas dos etapas son realizadas en paralelo por el departamento de color y calidad respectivamente, por último el lote es transferido al área de envasado donde el producto es vaciado en sus diversas presentaciones.

### El Proceso de Producción

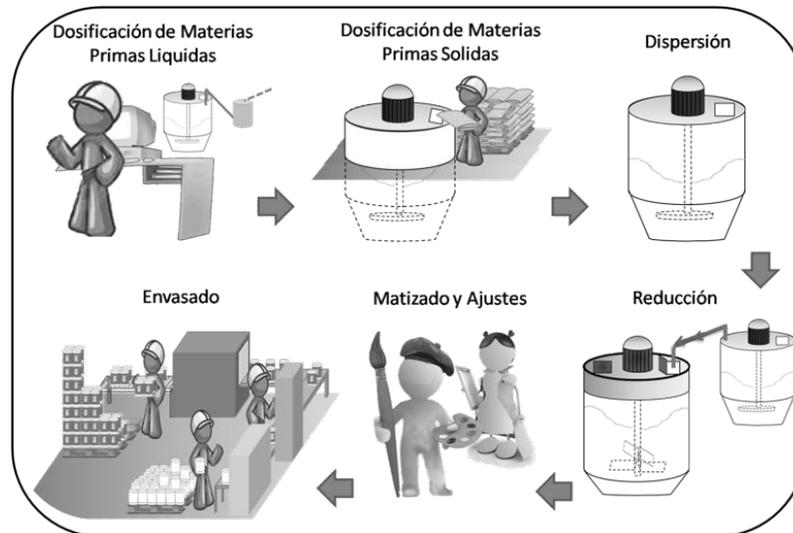


Figura 1. El proceso de producción.

En la etapa de dosificación de materias primas líquidas se utiliza una computadora dosificadora controlada por el operador, quien luego de esta operación se encarga de agregar la materia prima sólida manualmente dentro de un tanque dispersor de alta velocidad (DAV), en el cual se lleva a cabo la etapa de dispersión; posteriormente la pasta base debe ser trasladada por medio de tuberías hacia un tanque reductor (TR) donde se realizarán las etapas de reducción,

matizado y ajustes; las etapas de matizado y ajustes son realizadas por un matizador, que agrega cantidades de tintas y aditivos. Luego de que la pintura es aprobada por el departamento de calidad debe esperar dentro del TR por una línea de envasado, la cual posee una serie de equipos especializados para realizar el vaciado del lote de pintura en su respectiva presentación.

## El Modelo

El proceso inicia (ver figuras 2, 3 y 4) al introducir las condiciones iniciales al sistema, lo cual consiste en cargar el modelo con los productos en proceso, indicando la posición donde se encuentran dentro del sistema y las características del pedido: el nombre del producto, el tamaño de lote, la presentación del envasado, entre otros. De esta manera, al empezar la simulación se cuenta con una recreación de la situación real; luego de esto se procede a cargar la información de las órdenes que se desean procesar, dicha información es similar a las características expuestas en las condiciones iniciales, ordenando los productos según la secuencia y mezcla de producción que se plantea evaluar.

El modelo ya cuenta entonces con la información necesaria para ponerse en funcionamiento y se inicia el proceso; se pregunta si su tamaño de lote es igual a 1000 ó 500 gls. Esto con el propósito de destinar cada entidad a la ruta que pertenece, teniendo a disposición diferentes recursos de acuerdo al tamaño de lote, tomando una ruta las órdenes de 500 ó 1000 gls. y otra ruta las órdenes de 3000 gls.

Para el caso de lotes de 500 gls ó 1000 gls., se procede a preguntar si el producto es satinado, debido a que la respuesta influye en los tanques dispersores que se requieren utilizar.

En los casos en que las órdenes sean de 3000 gls. se evalúa la lista de ingresos de órdenes para indagar si existe alguna otra orden de 3000 gls. con las mismas características, en caso de hallarse tal patrón se fusionan las dos órdenes, convirtiéndose en una orden de 6000 gls. de un producto con la misma presentación.

Se evalúa si existe disponibilidad de un tanque dispersor que se adecúe a las

características y dimensiones del producto; en caso que los tanques se encuentren ocupados se espera hasta que exista la disponibilidad del equipo y se procede a asignar el tanque dispersor.

La entidad se dirige a preguntar si se encuentra disponible el sistema dosificador de materia prima líquida, en caso que se encuentre ocupado se espera hasta que el sistema dosificador esté disponible y se procede a la dosificación de materia prima líquida; posteriormente se dosifica la materia prima sólida y se procede al proceso de dispersión de la mezcla.

La siguiente fase consiste en el traslado de la mezcla desde el tanque dispersor al tanque reductor, para esto se busca un tanque reductor que pueda albergar el tamaño de lote y esté a la disposición de atender la clase del producto.

Al finalizar el proceso de traslado de la pintura, también conocido como reducción, quedan libres los tanques dispersores utilizados; comienza entonces la etapa de matizado y ajustes. En el proceso de ajustes se garantiza que el producto tenga las características físico-químicas correspondientes a su clase, realizando pruebas de pH, viscosidad, cubrimiento, entre otras.

Al obtener la pintura final, con sus requerimientos y controles aprobados, se evalúa la disponibilidad de líneas de envasado que trabajen con la presentación solicitada por el cliente. Se espera hasta que haya alguna de las líneas disponibles y se procede a realizar la puesta a punto de los equipos, consistiendo en la limpieza y el llenado del tanque de envasado con el producto, la calibración de la etiquetadora y la llenadora, el acercamiento de los insumos necesarios para el proceso, etc. Al estar la línea preparada se comienza el proceso de

envasado, el cual culmina al haber envasado y paletizado todo el lote. Al terminar el proceso del envasado y paletizado del lote se libera tanto el tanque

reductor utilizado como la línea encargada del envasado, dándose por concluido el proceso de producción de las pinturas emulsionadas realizadas en la empresa.

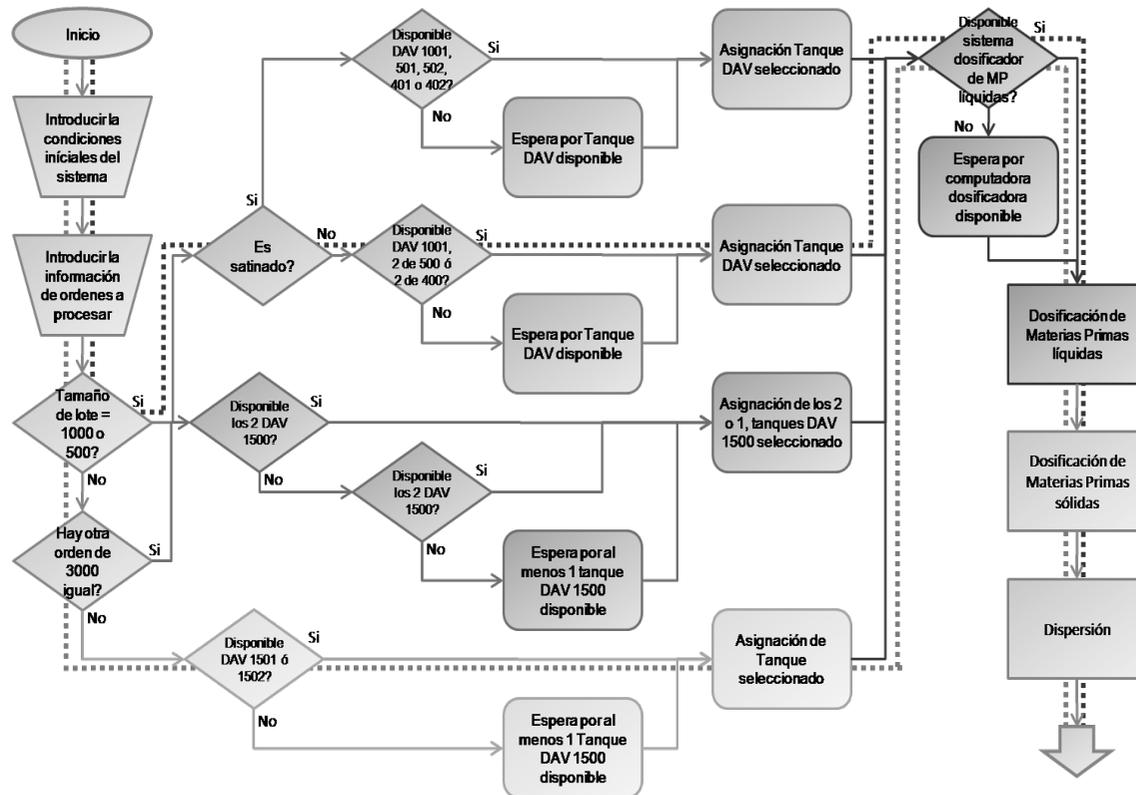


Figura 2. Flujograma del proceso, área de emulsiones primera parte.

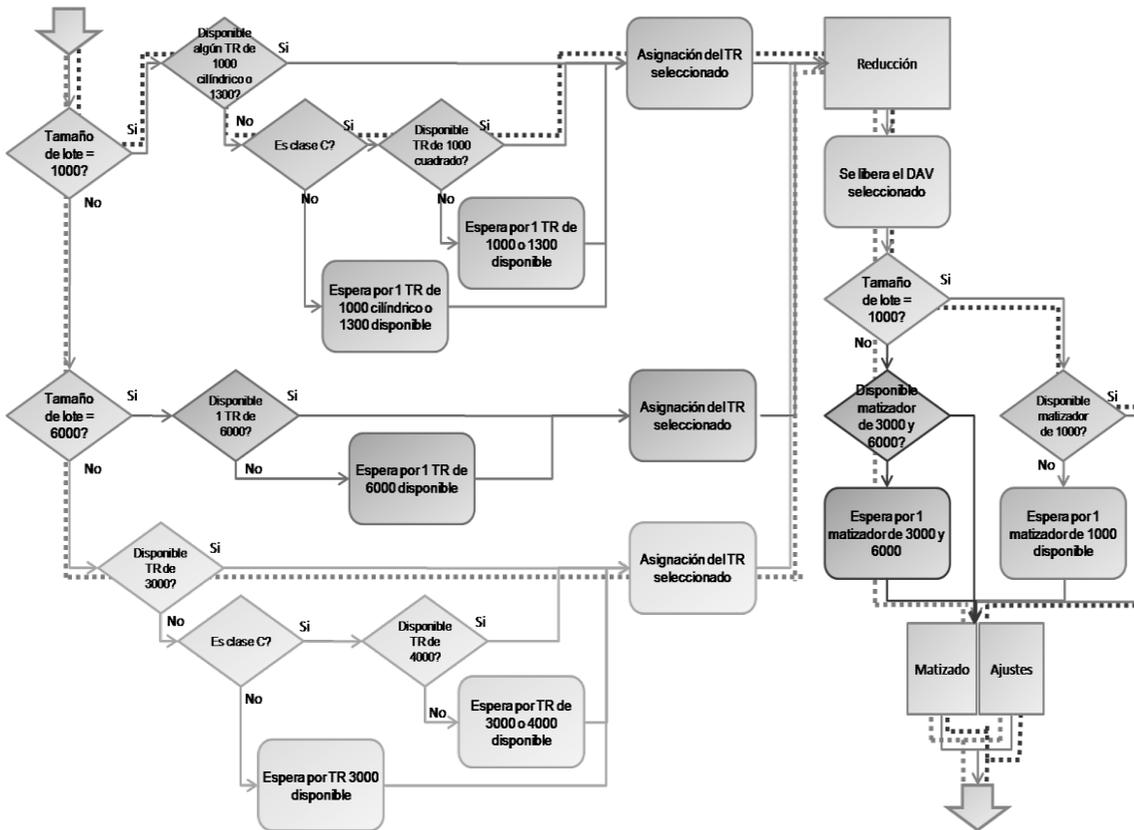


Figura 3. Flujoograma del proceso, área de emulsiones segunda parte.

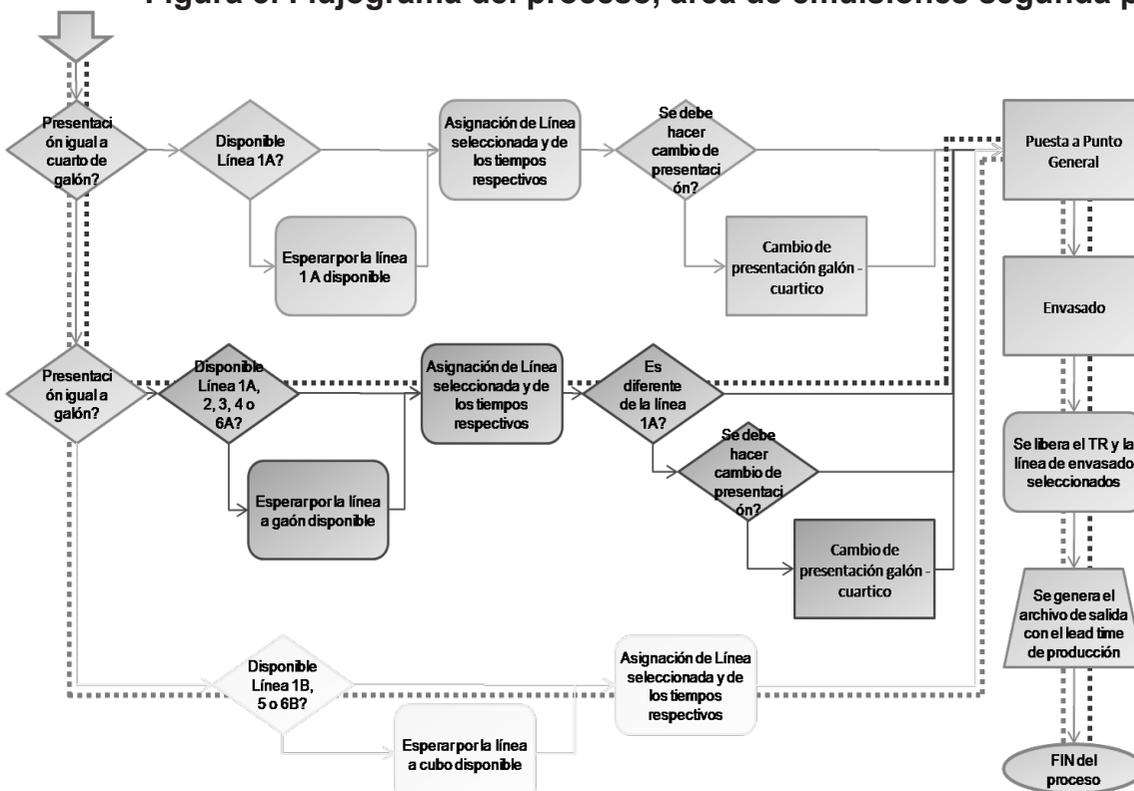


Figura 4. Flujoograma del proceso, área de emulsiones tercera parte.

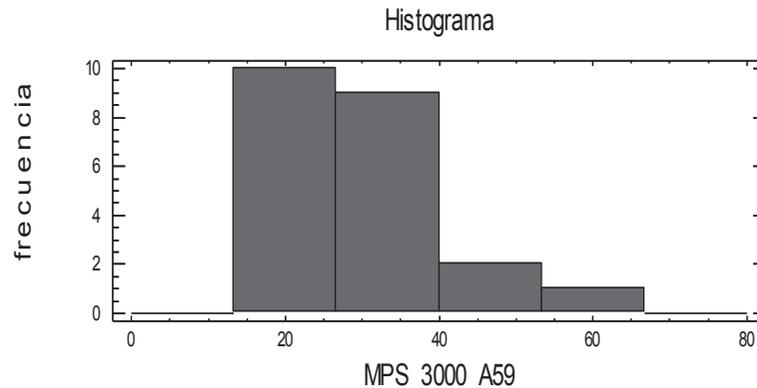
## Ajuste de las Variables

Se tomó una muestra de las variables involucradas en el proceso y se procedió a determinar a qué distribución de probabilidades se puede ajustar con la

ayuda del paquete Statgraphics 5.1®. Se muestra a continuación el estudio de la variable “Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A59, 3000 gls”, cuyos datos obtenidos se pueden apreciar en la tabla N° 1.

**Tabla N° 1. Muestra de la variable: Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A59, 3000 gls**

Dosif. M.P. sólida A59, 3000 gls.	36	22	16	21	23	30	24	17	32	49	39
	35	60	30	25	32	30	25	26	24	38	48



**Figura 5. Histograma de frecuencia de los Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A59, 3000 gls.**

Fuente: Statgraphics 5.1®

Observando el histograma de frecuencia se infiere que los datos pueden ser ajustados a una distribución lognormal ( $\mu = 31,04$ ;  $\sigma = 10,61$ ) y se plantea la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La serie de datos se ajusta a una distribución lognormal ( $\mu = 31,04$ ;  $\sigma = 10,61$ ).

$H_1$ : La serie de datos no se ajusta a una distribución lognormal ( $\mu = 31,04$ ;  $\sigma = 10,61$ ).

Aplicando la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov (K-S), se concluyó que los datos se pueden ajustar a una distribución lognormal ( $\mu=31,04$ ;  $\sigma=10,61$ ) ya que se obtuvo un p-valor para la prueba

igual a 0,98, el cual es mayor al nivel de significancia empleado ( $\alpha=0,05$ ).

Se realizó un estudio similar para las variables de las que se disponía de suficiente data y el resultado de algunas se puede observar en la tabla N° 2.

Además de las variables anteriores se tiene un grupo de variables de las que no fue posible obtener una data, por lo que se procedió a entrevistar a un experto para estimar un tiempo mínimo, un tiempo máximo y el tiempo más probable de las operaciones. El resultado obtenido para algunas de esas variables se observa en la tabla N° 3.

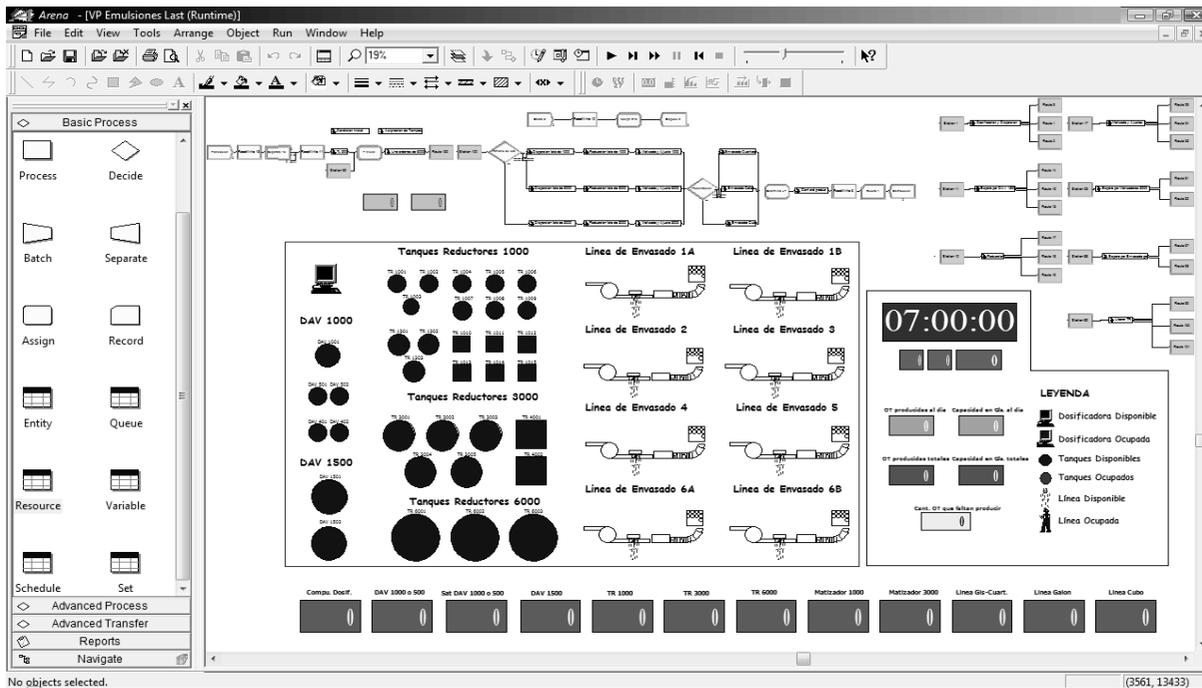
**Tabla N° 2. Variables y distribuciones de probabilidad ajustadas**

Variable	Distribución ajustada [min]	P-valor K.S
Tiempo en dosificar materia prima líquida de productos de 1000 gls.	Lognormal ( $\mu = 15,59$ ; $\sigma = 6,18$ )	0,564
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de GXX, 1000 gls.	Lognormal ( $\mu = 31,29$ ; $\sigma = 12,38$ )	0,261
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A58, 1000 gls.	Lognormal ( $\mu = 26,20$ ; $\sigma = 8,84$ )	0,880
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A59, 1000 gls.	Weibull ( forma = 2,96; escala = 0,90)	0,666
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A75, 1000 gls.	Lognormal ( $\mu = 50,98$ ; $\sigma = 15,91$ )	0,998
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A89, 1000 gls.	Lognormal ( $\mu = 48,17$ ; $\sigma = 20,74$ )	0,994
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de B05, 1000 gls.	Weibull ( forma = 6,05; escala =8,22)	0,999
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de K07, 1000 gls.	Lognormal ( $\mu = 48,72$ ; $\sigma = 16,42$ )	0,743
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de productos varios, 1000 gls.	Lognormal ( $\mu = 32,62$ ; $\sigma = 14,35$ )	0,089
Tiempo en dosificar materia prima líquida de productos de 3000 gls.	Normal ( $\mu = 27,11$ ; $\sigma = 3,87$ )	0,417
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de GXX, 3000 gls.	Normal ( $\mu = 29,56$ ; $\sigma = 5,87$ )	0,950
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A58, 3000 gls.	Lognormal ( $\mu = 45,37$ ; $\sigma = 10,30$ )	0,841
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A59, 3000 gls.	Lognormal ( $\mu = 31,04$ ; $\sigma = 10,61$ )	0,985
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de K07, 3000 gls.	Weibull ( forma = 8,21; escala = 9,88)	0,936
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de A89/A60, 3000 gls.	Lognormal ( $\mu = 33,01$ ; $\sigma = 12,01$ )	0,987
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de productos varios, 3000 gls.	Gamma ( forma = 9,19; escala =0,25)	0,736

Fuente: Statgraphics 5.1.®

**Tabla N° 3. Variables y distribuciones ajustadas a triangulares según la opinión de expertos.**

Variable	Distribución Ajustada [min]
Tiempo en dosificar materias primas sólidas de 271, 1000 gls.	Triangular (13; 16,33; 20)
Tiempo en dispersión de GXX, 1000 gls.	Triangular (14; 14; 54)
Tiempo en dispersión de A58, 1000 gls.	Triangular (14; 19,33; 32)
Tiempo en dispersión de 271, 1000 gls.	Triangular ( 40; 66; 50)
Tiempo en reducción de GXX, 1000 gls.	Triangular (18; 22; 59)
Tiempo en reducción de A59, 1000 gls.	Triangular (14; 16,38; 60)
Tiempo en reducción de 271, 1000 gls.	Triangular (27; 66; 108)



## El Modelo en ARENA®

En la figura N° 5, se muestra una vista general del modelo en el Programa ARENA®, en la cual se pueden observar dos zonas, en la primera se encuentra una secuencia de nodos similar al de un

flujograma, donde están contenidas la red de rutas y los algoritmos que fueron necesarios para recrear la lógica del

sistema; en la segunda zona se aprecian los recursos del sistema.

En la figura 6 se observa la animación del modelo donde se señala la hora de simulación, la cantidad de órdenes que se han producido y cuántas faltan por producir, con su equivalente en galones, así como cuales equipos están en ocio y cuáles trabajando.

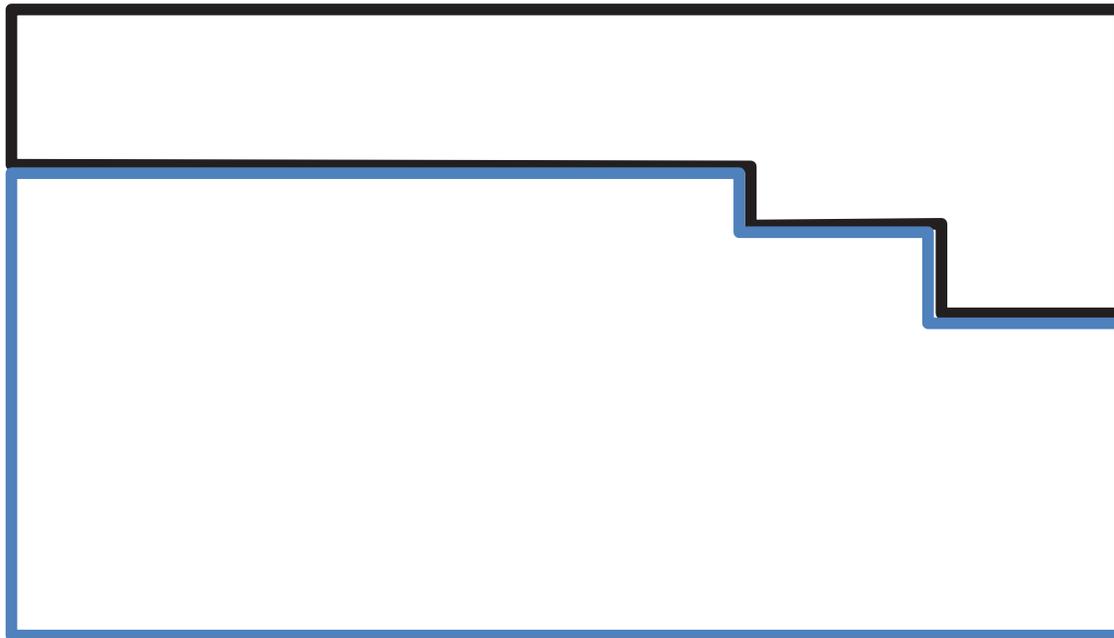


Figura 5. El modelo.

Fuente: ARENA®

### Salidas de Interés del Modelo

Los resultados que se obtienen de la simulación son presentados en dos archivos de salida; el primero (ver figura 8) es un reporte detallado de las órdenes que salieron del sistema, informando para cada

pedido: la orden de trabajo, código, tamaño, *lead time* y día en que fue terminada su producción; en el segundo archivo (ver figura 9) se puede apreciar un reporte diario sobre la cantidad de órdenes que han sido producidas y su cantidad equivalente en galones.

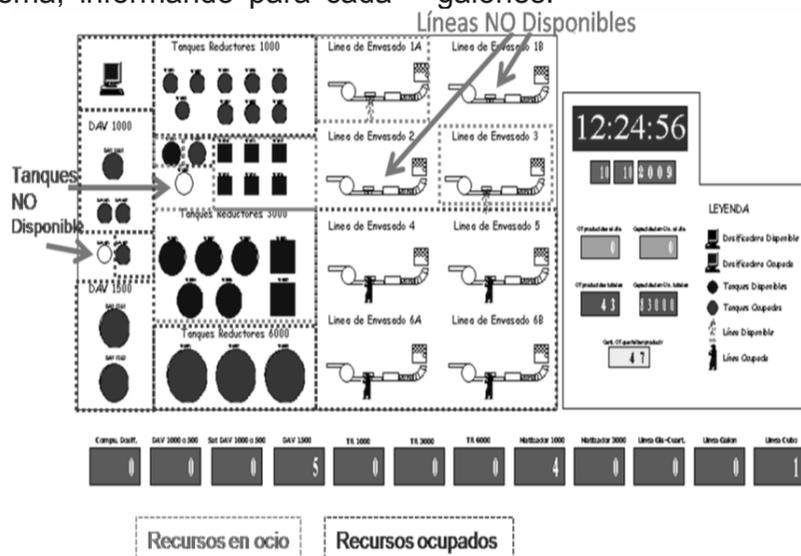


Figura 6. Animación del modelo.

Fuente: ARENA®

Orden de Trabajo	Código de Producto	Tamaño de lote	Presentación	Lead Time [ Horas ]	Día de Finalización
209135.000000	2.000000	1000.000000	6.000000	1.545848	1.000000
209101.000000	1.000000	1000.000000	1.000000	1.643549	1.000000
209202.000000	7.000000	1000.000000	1.000000	1.988702	1.000000
209231.000000	2.000000	3000.000000	3.000000	2.703692	1.000000
209237.000000	2.000000	1000.000000	1.000000	3.199999	1.000000
209210.000000	7.000000	1000.000000	1.000000	3.619874	1.000000
209269.000000	7.000000	1000.000000	3.000000	3.621687	1.000000
209204.000000	7.000000	1000.000000	1.000000	5.943566	1.000000
209239.000000	2.000000	1000.000000	1.000000	6.137714	1.000000
209212.000000	2.000000	1000.000000	1.000000	6.312241	1.000000
209290.000000	7.000000	3000.000000	3.000000	6.525902	1.000000
209288.000000	7.000000	3000.000000	3.000000	7.613418	1.000000
209344.000000	0.000000	1000.000000	1.000000	8.067125	1.000000
209241.000000	2.000000	1000.000000	1.000000	8.367646	1.000000
209300.000000	7.000000	3000.000000	3.000000	8.873388	1.000000
209296.000000	2.000000	3000.000000	5.000000	9.490057	1.000000
209357.000000	2.000000	1000.000000	5.000000	10.906216	2.000000
209294.000000	2.000000	3000.000000	5.000000	11.083488	2.000000
209076.000000	3.000000	1000.000000	5.000000	13.037892	2.000000

Figura 8. Vista del archivo "salida".

Fuente: ARENA®

Para la orden de trabajo número 209357 y de 5 galones, se obtuvo un *lead time* de producción para esa corrida de 10,90 horas. Para la orden de trabajo número 209357 y código de producto igual 2, de la cual se producirían 1000 galones en presentación

Día N°	N° de Ordenes	Cantidad de Galones producidos por día simulado
1.000000	24.000000	42000.000000
2.000000	10.000000	14000.000000
3.000000	14.000000	22000.000000
4.000000	11.000000	17000.000000
5.000000	12.000000	20000.000000
6.000000	13.000000	25000.000000
7.000000	16.000000	24000.000000
8.000000	9.000000	17000.000000
9.000000	6.000000	18000.000000
10.000000	3.000000	9000.000000
11.000000	5.000000	15000.000000
12.000000	1.000000	3000.000000

Figura 9. Vista del archivo "cantidad producida diaria".

Fuente: ARENA®

La cuarta fila del archivo cantidad producida diaria se lee de la siguiente manera: para el cuarto día simulado se produjeron un total de 11 órdenes generando un total de 17.000 galones.

### Validación del Modelo

Carson (2002) indica que por medio de la validación se determina si el modelo representa adecuadamente al sistema real; por lo que se procedió a comparar

estadísticamente las salidas del modelo con los resultados reales del sistema. Para ello se selecciono como variable la producción de galones en una semana y se procedió a

hacer el estudio para tres semanas, en la tabla N° 4 se muestran los valores del sistema.

**Tabla N° 4. Producción del Sistema**

Semana	1	3	4
N° de ordenes en proceso	43	51	26
N° de órdenes a introducir según plan de producción	44	64	64
N° de Ordenes procesadas según reporte de envasado	52	69	71
Producción en galones	105.120	138.537	140.369

Se introdujo la data correspondiente a cada una de esas semanas en el modelo y se repitió la simulación durante 30 veces para obtener una muestra de la cantidad de órdenes procesadas según el modelo y su equivalente en galones para cada una de esas semanas y se plantearon los siguientes contrastes de hipótesis.

Para la tercera semana:

$$H_0: \mu_{\text{producción del modelo}} = 140.369$$

$$H_1: \mu_{\text{producción del modelo}} \neq 140.369$$

Como regla de decisión se establece, que se rechazará la hipótesis de que la media de los valores arrojados por el modelo es igual

Para la primera semana:

$$H_0: \mu_{\text{producción del modelo}} = 105.120$$

$$H_1: \mu_{\text{producción del modelo}} \neq 105.120$$

Para la segunda semana:

$$H_0: \mu_{\text{producción del modelo}} = 138.537$$

$$H_1: \mu_{\text{producción del modelo}} \neq 138.537$$

al observado en el sistema, si el p-valor resultante del contraste de hipótesis es menor al nivel de significancia  $\alpha$  igual a 0,05.

Se realizaron las pruebas de hipótesis con el Statgraphics 5.1 y los resultados se pueden observar en la tabla N° 5.

**Tabla N° 5. Análisis unidimensional de las muestras de cada semana.**

Semana		1	2	3
Cantidad de galones procesados	$\bar{X}$	105.733,33	140.300,00	145.733,00
	S	12.151,20	16.555,30	12.348,20
P-valor		0,78	0,56	0,15

Fuente: Statgraphics 5.1.®

Como se puede observar para cada una de las pruebas de hipótesis se obtuvo un p-valor mayor a 0,05 por lo cual no existe evidencia suficiente para rechazar la

hipótesis nula, por lo que se infiere que el modelo es una adecuada representación del sistema.

## Análisis de los Resultados

Para el análisis de los resultados obtenidos por el modelo, se explicará cómo determinar el *lead time* de producción de dos pedidos supuestos; un cliente A ordena un pedido

conformado por los productos que se indican en la tabla N° 6 y en la tabla N° 7 se muestra las características del pedido del cliente B.

Tabla N° 6. Pedido del Cliente A.

Orden de Trabajo	Código	Tamaño de Lote	¿Es satinado?	¿Es clase C?	Presentación	¿Se matiza?
100001	4	1000	1	0	1	0
100002	2	1000	0	1	1	1
100003	1	3000	0	0	2	1
100004	7	6000	0	1	5	0

Tabla N° 7. Pedido del Cliente B.

Orden de Trabajo	Código	Tamaño de Lote	¿Es satinado?	¿Es clase C?	Presentación	¿Se matiza?
200001	3	1000	1	0	1	1
200002	9	3000	0	0	5	0
200003	2	1000	0	1	3	1
200004	5	500	0	0	1	1
200005	7	3000	0	1	6	1

La estimación del *lead time* de producción para el pedido del cliente A es de  $38,29 \pm 3,53$  horas, por lo cual se infiere la posibilidad de ofrecer al cliente que el pedido estará disponible en el almacén de producto terminado en 5 días con una probabilidad asociada de cumplir con lo establecido de 0,77, la cual se obtiene de los valores mostrados en la tabla 8. Para el cliente B, la estimación del *lead time* de producción de su pedido es de  $33,06 \pm 4,18$  horas, por lo que se estima ofrecer el producto en 5 días, con lo que se tiene un 93% de certeza de cumplir con esa fecha de entrega, ver tabla N° 9.

Al obtener las estimaciones es importante resaltar la relevancia que el modelo tendrá al momento de la planificación de la producción, la coordinación de ventas y servicio al cliente, ya que podrá ser ofrecida una fecha de entrega respaldada y estudiada específicamente para los productos que se encuentran en ese

momento en el área de producción, de esta manera se brindará al cliente una estimación confiable en comparación a la empírica respuesta que se otorgaba antes de contar con el modelo de simulación; a su vez el modelo puede ser empleado como herramienta para evaluar de una mejor forma la planificación y la secuencia de producción de los productos que ingresen al sistema, por medio de la corrida ante diferentes escenarios; también se podrá estudiar el impacto que trae en los tiempos de producción el funcionamiento de los equipos del área, lográndose apreciar tanto de forma visual como en el informe proporcionado por el modelo el porcentaje de utilización de los recursos empleados en el proceso, localizando posibles cuellos de botella según la secuencia de producción que se introduzca al sistema y además se podrá evaluar impacto de mejoras en el proceso sobre el *lead time* de producción.

**Tabla N° 8. Distribución empírica para el *lead time* de producción del pedido A.**

N°	Lead Time [horas]	Lead Time [días]	Frecuencia	Probabilidad Puntual	Distribución Empírica
1	35,35	4,42	1	0,13	0,13
2	35,48	4,43	1	0,13	0,25
3	36,04	4,51	1	0,13	0,38
4	37,83	4,73	1	0,13	0,50
5	38,83	4,85	1	0,13	0,63
6	38,97	4,87	1	0,13	0,75
7	45,52	5,69	1	0,13	0,88

**Tabla N° 9. Distribución empírica para el *lead time* de producción del pedido B.**

N°	Lead Time [horas]	Lead Time [días]	Frecuencia	Probabilidad Puntual	Distribución Empírica
1	28,29	3,54	1	0,13	0,13
2	29,27	3,66	1	0,13	0,25
3	30,36	3,79	1	0,13	0,38
4	31,24	3,91	1	0,13	0,50
5	37,06	4,63	1	0,13	0,63
6	37,48	4,68	1	0,13	0,75
7	37,73	4,72	1	0,13	0,88

## CONCLUSIONES.

La simulación es una herramienta adecuada para estudiar sistemas complejos como los de manufactura.

El modelo es una buena representación del sistema, el cual además de permitir la estimación del *lead time* de producción tanto para una orden como para un listado de ellas; proporciona a su vez información relevante con respecto al uso de equipos, congestión en áreas del proceso y detectar así los cuellos de botella, es posible analizar la incidencia de los tiempos muertos en el *lead time* y permite realizar estudios en cuanto al impacto de la secuencia de producción y la mezcla de productos en la cantidad de galones producidos en un período de tiempo determinado.

La etapa más complicada del estudio fue la validación del modelo, ya que para la correcta construcción del mismo fue necesario incluir tiempos de puesta a punto para cada uno de los recursos, los horarios de descanso, así como indicarle cuáles equipos no estaban operativos. De lo contrario el modelo no pasaba las pruebas de validación. Adicionalmente, esta etapa es vital ya que si el modelo no se valida correctamente, no se tiene garantía de que los resultados proporcionados por él sean extrapolables al sistema real.

Para la estimación del *lead time* es necesario realizar aunque sea 10 réplicas, estableciendo la fecha de entrega como el fractil deseado según los valores obtenidos en esas réplicas.

## REFERENCIAS

Calderón, J.; Lario, F. (2007). Simulación de Cadenas de Suministro: Nuevas aplicaciones y áreas de desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia.

Carson, J. (2002). Model verification and validation, Winter Simulation Conference, pág. 52-58.

Kelton, W; Sadowski, R; Sadowski, D (2002). Simulation with Arena, 2da edición. Mc Graw Hill.

Vierma, D. (2008). Construcción de un modelo de simulación para determinar la secuencia de producción (caso: empresa Inversiones Selva C.A. Grupo Phoenix. División Metalmecánica). Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.