



**EL LORO HUASTEKO**  
**Órgano de Divulgación Científica y Tecnológica del**  
**Instituto Tecnológico Superior de Pánuco**

**Memorias del Congreso Multidisciplinario Interinstitucional 2021**  
**Pánuco-Reynosa-Tamazunchale**

---

**Análisis comparativo de un proceso de fabricación mediante el software Flexsim para identificar la eficiencia entre la distribución normal y exponencial**

Marco Antonio Díaz Martínez	<i>Instituto Tecnológico Superior de Pánuco</i>
Reina Verónica Román Salinas	<i>Instituto Tecnológico Superior de Pánuco</i>
Manuel Antonio Arenas Méndez	<i>Instituto Tecnológico Superior de Pánuco</i>
Email autor corresponsal:	<i>marco.dm@panuco.tecnm.mx</i>
Área de participación:	<i>Ingeniería Industrial</i>

## **RESUMEN**

La mejora continua en un centro de distribución logística permite que la simulación desempeñe un papel importante en la prevención de errores y atrasos que ocurren en el transporte de un producto. El modelado y la simulación de un proceso de fabricación mediante el uso del software Flexsim analizaran los impactos positivos o negativos que puede tener la implementación de una distribución normal y exponencial de acuerdo a ciertos parámetros iniciales del proceso. Con los resultados obtenidos se podrá tomar mejores decisiones sobre la distribución probabilística que sería la más adecuada a implementar en el proceso de fabricación y así tener la mejor eficiencia del sistema.

**Palabras claves:** Distribución normal, distribución exponencial, flexsim, centro de distribución, simulación.

## **ABSTRACT**

The continuous improvement in a logistics distribution center allows the simulation to play an important role in the prevention of errors and delays that occur in the transport of a

product. The modeling and simulation of a manufacturing process through the use of Flexsim software will analyze the positive or negative impacts that the implementation of a normal and exponential distribution can have according to certain initial parameters of the process. With the results obtained, better decisions can be made about which probabilistic distribution would be the most appropriate to implement in the manufacturing process and thus have the best efficiency of the system.

**Key words:** *normal distribution, exponential distribution, flexsim, enter, simulation.*

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen muchos modelos de simulación y que han sido parte de la mejora continua de los procesos industriales. (Krajewski, 2017), menciona que los procesos industriales trabajan identificando su entorno externo, su entorno interno, entradas, salidas, información de desempeño, bienes y servicios. También que la evolución histórica de la administración de las operaciones y la cadena de suministro está impregnada de avances tecnológicos como la simulación de procesos industriales, así como la implementación de tecnologías CAD, *Computer Aided Design*). Adicionalmente para tener un mejor control de las operaciones en el proceso de fabricación se debe usar herramientas simples de la estadística descriptiva como las distribuciones normales y distribuciones exponenciales para expresar cuantitativamente la variación en las características de calidad menciona (Montgomery, 2016). La implementación de un sistema de simulación de un proceso de fabricación debe tener elementos como entidades, estado del sistema que son todas las operaciones que intervienen en el modelo a simular, eventos, localizaciones, recursos, atributos, variables y reloj de simulación menciona (García, 2013) Sabemos que el tiempo de una operación no siempre es exactamente el mismo, así como el tiempo de preparación de una máquina o el tiempo en revisar la documentación o bien la cantidad de productos que un transporte lleva (Krajewski, 2017), por mencionar algunos.

Mediante distribuciones de probabilidad normal y exponencial se puede representar con gran precisión las variaciones en cantidades y tiempos de los procesos y reducir los errores en la determinación de capacidades de producción, (De la Garza, 2014), programas de producción, fechas de entrega, balanceo de líneas, identificación de cuellos de botella o diseños de layout debido al uso de valores promedio, lo que permite que el modelo de simulación represente fielmente la realidad y la toma de decisiones para tener un mejor control de la producción de

acuerdo a las variables que se tengan que implementar (García, 2013). Mediante el uso de modelos de simulación con Flexsim (Beaverstockm, 2011).

En este documento se propone analizar en primer lugar los elementos involucrados en la simulación un proceso de fabricación de maquinado, prueba y empaque con el uso del software Flexsim. En segundo lugar, obtener resultados comparativos entre las dos distribuciones y determinar la eficiencia de los equipos y operaciones que intervienen en el sistema mediante el uso de Flexsim (Beaverstockm, 2011), así como conocer la capacidad máxima de producción y tiempos de proceso por operación y la cantidad de entradas y salidas de cada proceso, y, en qué operaciones se pueden tener un foco rojo por su importancia en el proceso para controlarlo, y, los recursos necesarios para mejorar la eficiencia de la operación del centro de distribución (Dossou, 2017). Para el caso de análisis comparativo con Flexsim de distribuciones normales y exponenciales, la bibliografía disponible es escasa, sin embargo, se conocen trabajos de simulación de entrega de mercancías en áreas urbanas donde evalúa los costos máximos, probabilidades y desarrollo de estas, para tener éxito en el proceso de implementación, así como las variables en las probabilidades y cómo actúan. Varios enfoques son proporcionados por la literatura basada en simulación de procesos y sus efectos en tiempo real (Emilian Szczepański, 2017);

Finalmente, se concluirá con la obtención de los resultados de ambas distribuciones y poder tomar una mejor decisión y cómo es conveniente trabajar en este tipo de procesos de fabricación con el uso de Flexsim ya que éste es un software innovador y de impacto real y puede ser utilizado antes de su implementación física y poder tomar las mejores decisiones.

## **METODOLOGÍA**

### **Elementos principales para la simulación de un proceso de fabricación con Flexsim.**

- a) **Objetivos:** analizar los resultados comparativos de una distribución normal y exponencial.
- b) **Recolección de datos:** se tiene el caso de un sistema de producción con ciertas características que serán evaluadas por las dos distribuciones.

- c) Construcción del modelo de sistema: se tiene las etapas de Entrada, líneas de espera, proceso salida y almacén.
- d) Construcción de la simulación: se tendrán los elementos proporcionados por el software Flexsim y generar la simulación pertinente.
- e) Validación de datos: reconocimiento de datos de entrada y salida de cada proceso para evaluar su firmeza en la simulación o en su defecto realizar los ajustes correspondientes.
- f) Corrida de simulación: habiendo validado los datos se corre el sistema para la obtención de los resultados.

Análisis de resultados: Se comparará ambos resultados de las dos distribuciones, tanto normal como la exponencial y se determinará de acuerdo a los resultados la mejor opción que el proceso puede trabajar (Beaverstock, 2011). En la tabla 1 se describen los elementos que integran un proceso desarrollado en Flexsim.

**Tabla 1.** Descripción de los elementos que integran el proceso de fabricación en Flexsim.

Equipo	Descripción
<b>Flowitems</b>	Objetos que se mueven a través del modelo.
<b>Itemtype</b>	Es una especie de "etiqueta" que tiene el flowitem que contiene cierta información como puede ser el número del código de barras.
<b>Ports</b>	Existen tres tipos de puertos: de entrada (input), de salida (output) y central (central).
<b>Source</b>	Es utilizado para crear flowitems o productos que viajan por el modelo.
<b>Sink</b>	Destruir los flowitems o productos que finalicen el proceso en el modelo.
<b>Queue</b>	Almacenar flowitems cuando el siguiente objeto no los puede recibir.
<b>Conveyor</b>	Transporta flowitems a través de él, su forma se define creando diferentes secciones y definiendo para cada sección su longitud.
<b>Processor</b>	Simula un lugar de operación o una máquina.

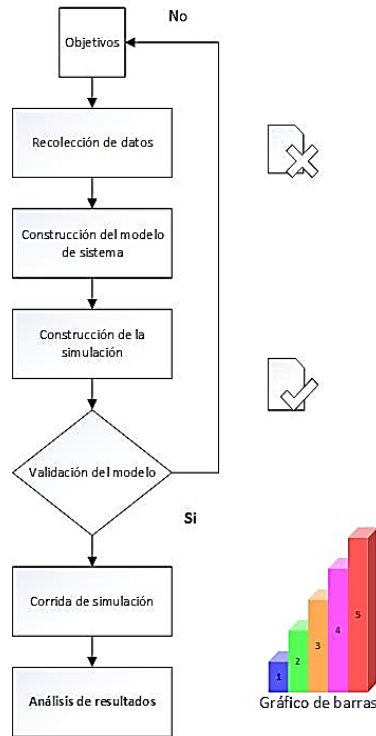


Figura 1. Diagrama lógico de los elementos que integran el proceso de fabricación en Flexsim.

### Análisis comparativo de un proceso de fabricación

Un producto llega al “queue” cada 20 segundos exponenciales distribuidos y de ahí es mandado a cualquiera de las tres máquinas donde es procesado en 20 segundos (pero si es retrabajo tarda 24 segundos). Las partes maquinadas se colocan en un “queue” común a esperar ser aprobadas. El 20% se encuentran “malas” y deben ser reprocesadas (utiliza un “conveyor” o transportador para mandar los “flowitems” de proceso al “queue” y cambia el color de producto). El tiempo de pruebas es constante de 9 segundos. Las partes que pasan la prueba van a otra “queue” y esperan a ser empacadas en una maquina automática. Esta máquina acumula 10 productos en una caja y después de esto se cierra, se sella y se etiqueta en 57 segundos. El suministro de cajas viene en un “queue” que es alimentado por una máquina formadora de cajas que tiene un tiempo de proceso normal (50.2) segundos. La máquina formadora de cajas se descompone la primera vez y las subsecuentes con una frecuencia “Weibull” (200,6) y toma entre 20 y 30 segundos uniformes distribuidos ser reparada.

## Operaciones que intervienen en el proceso de fabricación

En la figura 2, se muestra un esquema de los elementos físicos reales que contiene el proceso de fabricación a simular en Flexsim. Es importante conocer cada una de las operaciones que intervienen en el sistema ya que estos son parte importante de las áreas que intervendrán o personas involucradas en el desarrollo y supervisión del sistema (Beaverstock, 2011).

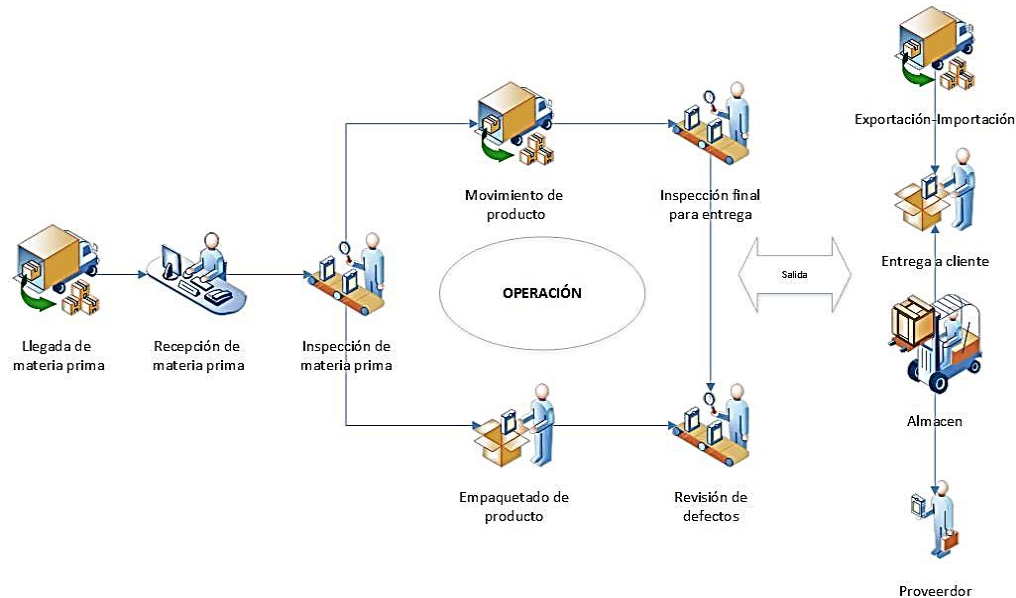


Figura 2. Diagrama de distribución de los elementos de operación que intervienen en el proceso de fabricación.

## Descripción a detalle de las operaciones que intervienen en el proceso de fabricación analizado

- Source1: es el primer elemento del inicio del proceso de operación donde se realiza salida de materia prima hacia una cola o línea de espera con un tiempo de arribo exponencial.
- Queue2: es la encargada de recibir la materia prima y esta cuenta con una capacidad máxima de recepción de 50 productos o empaques (materia prima).
- Processors 3, 5, 6: habiendo pasado por la primera línea de espera se procede a las diferentes operaciones por las que será sometido la materia prima o el producto inicial para su transformación y también en esta parte se tiene contemplado la realización de

mantenimientos MTBF y MTTR con una distribución exponencial y un tiempo de proceso de operación de 20 segundos. La simulación es corrida con un tiempo de 3600seg.

- d) Queue 7: habiendo pasado por los procesos de operación es trasladado a una línea de espera de recepción del producto terminado, esta cola tiene una capacidad máxima de recepción de 50 productos con distribución exponencial.
- e) Processor 8: una vez llegado a la línea de espera (Queue 7), pasa a una operación de inspección donde este determinará si es aceptado el producto o en su defecto será enviado a un conveyer o transporte para empezar nuevamente el proceso.
- f) Queue 9: si el producto es aceptado por el proceso de inspección (processor 8), este, pasará a una última línea de espera o cola que está habilitada para una capacidad de recepción de 50 productos.
- g) Combiner 9: si ha sido aceptado el producto final, pasa a la etapa de empaquetado y envío al cliente o almacén.

## RESULTADOS

En la figura 13, se observa como en el Queue 12 (línea de espera) la distribución normal genera solo 1 espera y en exponencial 2 esperas, así como en el caso del uso del conveyer 15 o banda transportadora para enviar los productos defectuosos al inicio del sistema y ser nuevamente reprocesados donde los resultados muestran 3 productos sería reprocesados para la distribución normal y 5 reprocesados para distribución exponencial. Con base este resultado, se podría tomar como referencia en qué procesos se generar más atrasos e implica tener un reproceso de acuerdo a la distribución implementada y la cantidad de producto que volverá al inicio de la producción (Montgomery, 2016), (Szczepański, 2017).

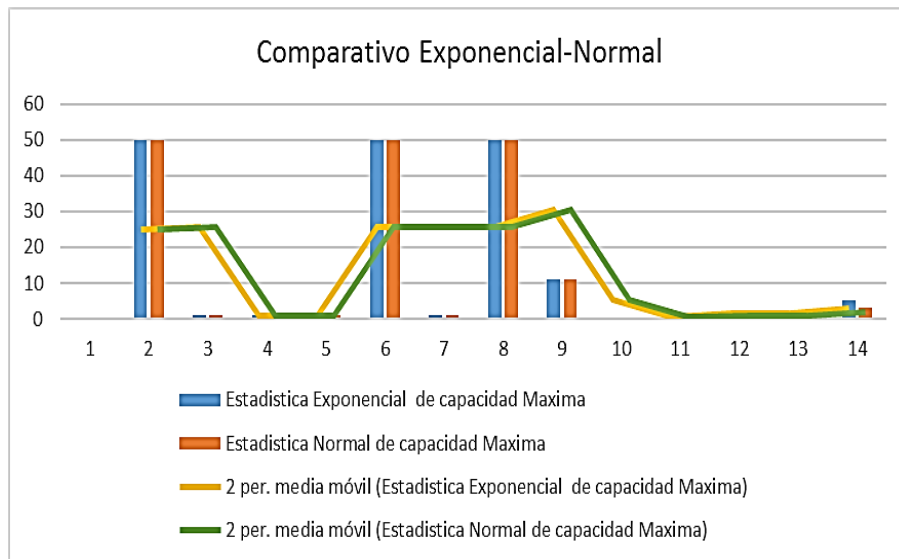


Figura 3. Comparativo de resultados de la capacidad máxima de producción exponencial y normal del proceso de fabricación simulado en Flexsim.

Se encontró que de acuerdo con las distribuciones aplicadas la cantidad obtenida de producto terminado fue el siguiente.

Tabla 2. Resultados de cantidad de producto terminado de las distribuciones exponenciales y normales.

Exponencial	Normal
244	239

Con estos resultados de porcentajes de uso de las distribuciones en el sistema de producción y los resultados de producto final producido en el sistema se obtuvo lo siguiente.

Para la distribución normal se obtuvo un 34% de implementación en el sistema y 239 productos salidas finales y la distribución exponencial 23% de implementación en el sistema y 244 productos salidas finales; esto quiere decir que, aunque la distribución normal tenga un mayor porcentaje de implementación en el sistema tiene un 10% menos de producto terminado, lo cual esto significa que la distribución exponencial sería la más óptima a implementar ya que tiene una mejor efectividad de producto terminado.

## DISCUSIÓN

Los equipos de laboratorio y los reactivos que se emplean en los experimentos son muy costosos; definitivamente, en nuestras condiciones son imposibles de realizar para la enseñanza-aprendizaje. Debido a que el tema planteado en los experimentos virtuales corresponde a una actividad propia de la formación disciplinaria, tiene un significado para los alumnos. Se trata de efectuar un experimento virtual guiado para que se logre la construcción de conocimiento (López, 2003; Cronbach & Snow, 1977). Las universidades deben ofrecer a sus estudiantes las herramientas apropiadas para que puedan explorar a fondo el ámbito laboral en el que se desarrollarán, pero desde su actual posición. Con estas herramientas, pueden diferenciar, analizar y crear su propio aprendizaje mediante una experiencia directa con el medio, aumentando así su capacidad de respuesta y su habilidad para responder a las nuevas demandas tecnológicas. La simulación simbólica hace posible generar modelos visuales del flujo del tránsito urbano, las operaciones múltiples de una planta, las corridas de producción y muchos problemas más.

## CONCLUSIONES

Se analizó un modelo de simulación de maquinado, prueba y empaque que permite tomar una mejor decisión sobre el tipo de distribución que se ha de implementar en las operaciones de este tipo de sistemas de producción de maquinado, prueba y empaque.

Se mostraron las variables de un modelo de simulación con distribución normal y distribución exponencial y su comportamiento en cada una de ellas. También se mostraron los resultados de capacidad máxima y mínima por proceso en el sistema.

Se ha mostrado con los cambios en las aplicaciones de las distribuciones que un 34% de las operaciones totales del sistema trabajan con una distribución normal, 23% trabajan con una distribución exponencial y un 43%, sería idóneo implementar ambas distribuciones en las operaciones del sistema de producción.

Se reforzó la toma de decisión aplicando una prueba estadística de Wilcoxon y se determinó que si existen diferencias significativas en ambas distribuciones.

Este sistema de producción y análisis de distribuciones pueden tomarse de base y poder generar una mejor toma de decisión ya que con los resultados obtenidos se tiene un panorama más amplio por cada uno de los procesos y en que operaciones pueden existir atrasos, cuellos de botella y obtener una mejor optimización de la producción, cabe mencionar que el software utilizado es muy novedoso y sirve de base para tener una mejor gestión y distribución de los procesos involucrados en el inicio, durante y final de proceso y saber que distribuciones serían las más indicadas a poder implementar en los diferentes sistemas o procesos tomando como base las analizadas en este trabajo y no quedando cerrados a poder implementar nuevas tecnologías y análisis matemáticos para ir generando una mejor toma de decisiones en nuevos procesos industriales.

## LITERATURA CITADA

- Beaverstock, M., Nordgren, N., & Greenwood, A. (2011). *Applied Simulation. Modeling and Analysis Using Flexsim*. EUA. Shanna Warr.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la cadena de suministro*. México.
- De la Garza G., Blanca, N., & González C. (2014) *Análisis Estadístico de Multivariable*. McGraw-Hill (pp.120).
- Dossou, P., & Meriem, N. (2017). *Modeling Supply Chain Performance*, Modena, Italy. (pp. 838-845).
- García, F., García, R., & Cárdenas, B. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con Promodel*. 2da Edición, Pearson (pp. 6-10).
- Hollander, M., & Wolfe, A. (2014). *Nonparametric Statistical Methods*. 3a edición. Wiley Series. (pp. 40-59).
- James, R., & William, M. (2015). *Administración y control de la calidad*. México. Cengage Learning. (pp. 263,267).
- Krajewski, J. (2013). *Administración de operaciones*. México. Pearson (pp. 4.).
- Montgomery, C. (2016). *Control estadístico de la calidad*. México. Limusa (pp. 39\_75).
- Powel, P. (2017). *Multimodal Approach to Modeling of Manufacturing Processes*, Poznan, Poland. (pp. 716-720).
- Szczepański, E., Jolanta, I., & Jacyna-Gołda, J. (2017). *Simulation Support of Freight Delivery Schedule in Urban Areas*, Warsaw University of Technology, Poland. (pp. 520-525).

Zhiye, Y. (2012). *A Dynamic Management Method for Fast Manufacturing Resource Reconfiguration*, Xi'an, China. (pp. 1558-1564).

Clarcacat. (09 de 09 de 2021). Arena. Obtenido de <https://www.clarcacat.com/arena/>

Flexsim, p. s. (09 de 09 de 2021). Flexsim. Obtenido de <https://www.flexsim.com/>

García, D. E., García, R. H., & Cárdenas, B. L. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con promodel*. México, D.F.: Pearson.

Promodel. (09 de 09 de 2021). Promodel. Obtenido de <http://promodel.com.mx/>

Simón, M. I. (2016). *Un primer paso a la simulación con Flexsim*. España: Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.