

Use of Statistics as Tool of Analysis in Simulation. Didactic Application in Industrial Engineering.

Yesid Forero Páez, Ing.¹, Jaime Alberto Giraldo García, Dr.²

¹Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Universidad Autónoma de Manizales, Colombia. yforerop@unal.edu.co,
yforero@autonoma.edu.co

²Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia, jaiagiraldog@unal.edu.co

Abstract— The paper presents the results from a simulation model made for a process of making bicycles, comparing the difference in process performance measurements for deterministic time operating times are used in the first instance and probabilistic times in a second stage. The number of units produced, average production time per unit of output and utilization rates for three areas of assembly to vary the nature of the operation times as controlled factors having other elements are set. In each of the proposed scenarios 20 repetitions are performed, resulting in a production of 35 units in the first instance, while considering variables times the number of units obtained varies between 32 and 37; the other two performance measures analyzed have similar behaviors, presenting a specific value in the first stage and a range of results in the second. Based on these results we conclude that in the simulation of processes for decision-making, requires a proper use of statistics in all phases, so that the model considers precisely the natural variations of the production processes.

Keywords— Stage, replica, confidence interval, experimental design, performance measure.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.056>

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

13th LACCEI Annual International Conference: “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?”
July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.056>

Uso de la Estadística como herramienta de análisis en Simulación. Aplicación didáctica en ingeniería industrial.

Yesid Forero Páez, Candidato a Magister en Ingeniería Industrial¹, Jaime Alberto Giraldo García, Dr. en Ingeniería²

¹Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Universidad Autónoma de Manizales, Colombia. yforerop@unal.edu.co, yforero@autonoma.edu.co

²Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia, jaiagiraldog@unal.edu.co

Resumen– El documento presenta los resultados obtenidos con un modelo de simulación realizado para un proceso de elaboración de bicicletas, comparando la diferencia en medidas de desempeño del proceso cuando para los tiempos de operación se emplean tiempos determinísticos en primera instancia y tiempos probabilísticos en un segundo escenario. Se establece el número de unidades elaboradas, tiempo promedio de fabricación por unidad de producto y los porcentajes de utilización de tres áreas de ensamble al variar la naturaleza de los tiempos de operación teniendo como factores controlados los demás elementos.

En cada uno de los escenarios propuestos se realizan 20 repeticiones, obteniendo en primera instancia una producción de 35 unidades, en tanto que al considerar tiempos variables el número de unidades obtenidas varía entre 32 y 37; las otras dos medidas de desempeño analizadas tienen comportamientos similares, presentando un valor específico en el primer escenario y un intervalo de resultados en el segundo. Basados en estos resultados se concluye que en la simulación de procesos para la toma de decisiones, se requiere de un adecuado empleo de la estadística en todas sus fases, de tal manera que el modelo considere de manera precisa las variaciones naturales de los procesos productivos.

Palabras clave -- Escenario, replica, intervalo de confianza, diseño experimental, medida de desempeño.

I. INTRODUCCIÓN

La evolución de la sociedad, especialmente en la segunda parte del siglo XX y lo corrido del nuevo milenio, ha generado profundas transformaciones en todas sus instituciones, la sociedad postindustrial “avanza inexorablemente hacia la primacía de la inteligencia y el saber” como principales factores del progreso social y económico [1,2]; el sistema educativo, una de las instituciones sociales por excelencia, se encuentra inmerso en un proceso de cambios enmarcados en el conjunto de transformaciones sociales propiciadas por la innovación tecnológica y, sobre todo, por el desarrollo de las tecnologías de la información y de la comunicación [3], esto ha requerido de acciones permanentes que lo pongan en sintonía con las demandas de la sociedad y el entorno de manera general.

De otra parte, la necesidad de supervivencia ha generado entre las empresas modernas un alto sentido de competencia, el cual ocasiona que desde todos los sectores económicos se generen estrategias en la búsqueda de su

permanencia y evolución, uno de los más sensibles es el sector industrial el cual al ser el referente de desarrollo de una región o de un país, plantea de manera permanente necesidades de mejora, haciendo que los responsables de su gestión estén en constante búsqueda de herramientas y medios para cumplir sus objetivos.

La simulación ha sido una de las técnicas que debido a su potencial de uso y al avance tecnológico, ha ido penetrando lentamente en el quehacer del Ingeniero Industrial, constituyéndose en una herramienta supremamente útil para el análisis de sistemas de producción. “El objetivo del modelo de simulación consiste precisamente, en comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes al sistema, su actualidad y la evolución de la tecnología” [4]. La relevancia de aplicación de la simulación radica en tres aspectos fundamentales: la incertidumbre asociada en la realización de eventos, la interdependencia entre esos mismos eventos y la necesidad de estudiar el comportamiento del sistema en un periodo de tiempo determinado; infortunadamente la importancia de la aplicación de la simulación en el análisis de procesos ha adolecido en muchos contextos de la relevancia necesaria, debido al énfasis que se da, por parte de quién realiza la simulación, en privilegiar la parte estética de los modelos realizados, en aspectos como: diseño, animación, representaciones en tercera dimensión y manipulación de los elementos del software empleado [5], esto ocasiona que se incurra en el error de subestimar la riqueza de información obtenida al simular, dejando de lado lo realmente importante relacionado con un adecuado tratamiento estadístico de datos de entrada, proceso y salida.

Es en este contexto que se desarrolla un modelo de simulación, en el marco de un trabajo final de maestría en Ingeniería Industrial titulado “*Empleo de la simulación como estrategia de enseñanza en Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma de Manizales*”, usando para ello una de las herramientas disponibles para simulación de procesos industriales; en cada una de las fases del modelo se destaca la importancia del empleo de la estadística, tanto en el tratamiento de datos de entrada, al considerarse provenientes de fenómenos aleatorios por la intervención del recurso humano en su generación, la variabilidad inherente a los procesos y el empleo de herramientas estadísticas para el tratamiento y análisis de los resultados obtenidos en la simulación del modelo.

Como etapa previa al empleo de la simulación en la gestión de procesos es necesario tener claridad sobre las distribuciones de probabilidad que permiten la modelación de fenómenos de la realidad, existiendo cuatro consideraciones en la selección de la función de distribución adecuada para las variables de entrada [6]:

- Las características especiales de cada distribución en particular.
- La precisión con la que la distribución puede representar un conjunto de datos experimentales.
- La facilidad con que la distribución se ajusta a los datos
- La eficiencia computacional para generar variables aleatorias.

De otra parte, para los resultados de la simulación (información de salida), se requiere del modelador y analista del proceso una adecuada habilidad para su interpretación, evitando incurrir en el error de subestimar el potencial de la simulación, ya que en muchos estudios de simulación se gasta demasiado tiempo y dinero para el desarrollo del modelo y la programación y se hace poco esfuerzo para analizar los resultados con el rigor estadístico adecuado [6] [7].

Con la simulación efectuada y el tratamiento y análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios, se determina la relevancia de incluir distribuciones estadísticas para las estimaciones de los tiempos de proceso en el análisis de sistemas productivos, constituyéndose en soporte para la precisión en la toma de decisiones.

II. MÉTODOS

Para la elaboración del modelo se sigue la metodología propuesta en [5], con base en lo expuesto en [7, 8, 9,10, 11 y 12].

A. Diseño del proceso

Para la simulación a realizar se selecciona un proceso de fabricación de fácil comprensión, que le permita a quienes empleen el modelo un inmediato entendimiento de las fases de operación y un adecuado conocimiento de las partes involucradas en los procesos de ensamble; por esta razón se selecciona el proceso de elaboración de bicicletas, por ser un producto de uso cotidiano y de gran familiaridad en la población especialmente entre los jóvenes. Inicialmente se hace recolección de información sobre el proceso de fabricación, definiendo etapas productivas, en cada una de ellas las partes arriban a una estación de trabajo específica de acuerdo a la estructura del producto (fig. 1), esta estructura está determinada por un cuerpo central (marco) y unos componentes establecidos por sub ensambles que se van integrando al producto de acuerdo a la etapa de producción.

El marco inicia su fabricación con el arribo de los tubos al área de almacenamiento, desde donde sale hacia el proceso de producción de marcos y manubrios, pasando por las operaciones de corte, troquelado, doblado, soldadura y pintura; paralelamente a la fabricación del marco, se van realizando sub ensambles que de acuerdo a la fase de

producción se van integrando con el marco de la bicicleta hasta lograr el producto terminado.

B. Elaboración del modelo.

Una vez establecida la secuencia del proceso se construye el modelo, empleando un software de simulación que permite hacer una abstracción de la realidad para ser representada teniendo en cuenta las variables de la situación a representar y sus relaciones en términos de causa- efecto, con base en estas consideraciones se selecciona el *software* de simulación *Promodel*, el cual gracias a una dinámica interfaz permite que el modelador represente con alta fidelidad las condiciones de las diferentes etapas de operación de un proceso; además brinda la posibilidad de hacer estimaciones de tiempos de acuerdo a las necesidades de la simulación, para el presente caso la inclusión de tiempos fijos inicialmente y posteriormente tiempos asociados a variables estadísticas.

C. Ingreso de datos de entrada

El proceso de fabricación propuesto para la simulación se divide en etapas de acuerdo a la secuencia de ensamble, empleando recursos específicos, con asignación de tiempos de transporte y operación a cada una de ellas. Para el tratamiento de tiempos de operación en el modelo construido inicialmente se consideran tiempos determinísticos en la duración tanto de las operaciones, de las llegadas de las materias primas e insumos al proceso y los transportes entre estaciones de trabajo (tabla II); posteriormente se hace estimación de estos tiempos de acuerdo a fenómenos probabilísticos (tabla III), en donde se tiene en cuenta la incertidumbre e interdependencia generada por la relación entre las etapas del proceso productivo (fig. 1), para ello se hacen estimaciones en los tiempos de acuerdo a variables estadísticas procedentes de distribuciones empleadas en simulaciones preliminares como lo son la uniforme y triangular, permitiendo que el modelo construido adopte márgenes amplios de variabilidad.

Para el ingreso de los tiempos de operación y de transporte se emplea una hoja electrónica (excel) como interfaz al software, de tal forma que el usuario digite las estimaciones de tiempos, ya sea considerando tiempos determinísticos o probabilísticos de acuerdo a cada escenario propuesto.

D. Ejecución del modelo

La simulación se ejecuta por un periodo de tiempo de cincuenta horas, con 20 réplicas en cada uno de los diferentes escenarios propuestos, tiempos determinísticos en primera instancia (sin replicas) y posteriormente tiempos aleatorios en un segundo escenario.

E. Recolección y análisis de datos de salida

Los datos arrojados por las simulaciones hechas se registran en una hoja electrónica (Excel) y se hace una comparación en las siguientes medidas de desempeño: número de unidades producidas, tiempo promedio de fabricación por unidad de producto y tasas de uso de

recursos empleados en el proceso para cada uno de los escenarios.

III. DESARROLLO

La disposición de las diferentes áreas de operación se basa en la secuencia de producción propuesta para la elaboración de las bicicletas, según se muestra en el diagrama de proceso de fabricación (fig. 1). En la tabla I se muestran las partes de la bicicleta y las operaciones en su proceso de fabricación.

TABLA I
COMPONENTES Y OPERACIONES DE LA BICICLETA

| Componentes | | | |
|-------------|------------------------|----|---------------------|
| A | Tubo superior | Q | Sistema de tracción |
| B | Tubo dirección | R | Rueda trasera |
| C | Tubo Asiento | S | Manzana |
| D | Tubo inferior | T | Piñones |
| E | Vaina | U | Llanta |
| F | Tija | V | Freno |
| G | Sistema de transmisión | W | Rayo |
| H | Cadena | X | Buje |
| I | Estrella | Y | Rueda Delantera |
| J | Pedal | Z | Soldadura |
| K | Biela | A1 | Puntera |
| L | Cambios | B1 | Amortiguador |
| M | Sistema de dirección | C1 | Sillin |
| N | Telescopio | D1 | Control Cambios |
| O | Manubrio | E1 | Control Freno |
| P | Tijera | | |
| Operaciones | | | |
| 1 | Corte | 5 | Pintura |
| 2 | Doblado | 6 | Ensamble |
| 3 | Pulido | 7 | Inspección |
| 4 | Soldadura | 8 | Almacenamiento |

El proceso productivo inicia con la llegada de tubos para crear el marco y el manubrio, los demás elementos de la bicicleta van arribando al sistema y se van ensamblando en diferentes etapas (en paréntesis se indica el número de partes necesarias por unidad final)

- Marco (1): llegan los tubos al área de almacenamiento de tubos y continúan en secuencia a Corte (se requieren 11 partes para formar el marco, manubrio, tija, telescopio, tijera, poste), troquelado, doblado, soldadura, pintura y Ensamble

- Manubrio (1): llegan los tubos al área de almacenamiento de los tubos y continúan en secuencia a corte, troquelado, doblado y sub ensamble 1

- Sillín (1), tubo del sillín (1), estrella (1), arriban directamente al sub ensamble 1

- Telescopio (1), poste (1), tijera (1), amortiguador (2), cadena (1), arriban a sub ensamble 2

- Bielas (2), cambio (2), frenos (2), arriban a sub ensamble 3

- Rin trasero (1), llanta trasera (1), rayo trasero (32), piñón (1), arriban a ensamble rueda trasera

- Rin delantero (1), llanta delantera (1), rayo trasero (32), masa (1), arriban a ensamble rueda delantera.

- En el área de ensamble final se acondicionan las ruedas a la bicicleta y se hace una inspección, las unidades

aceptadas pasan directamente al almacén final y las demás pasan a la sección de ajuste para luego ir al almacén.

- Las bicicletas después del almacén salen del proceso para el consumidor final.

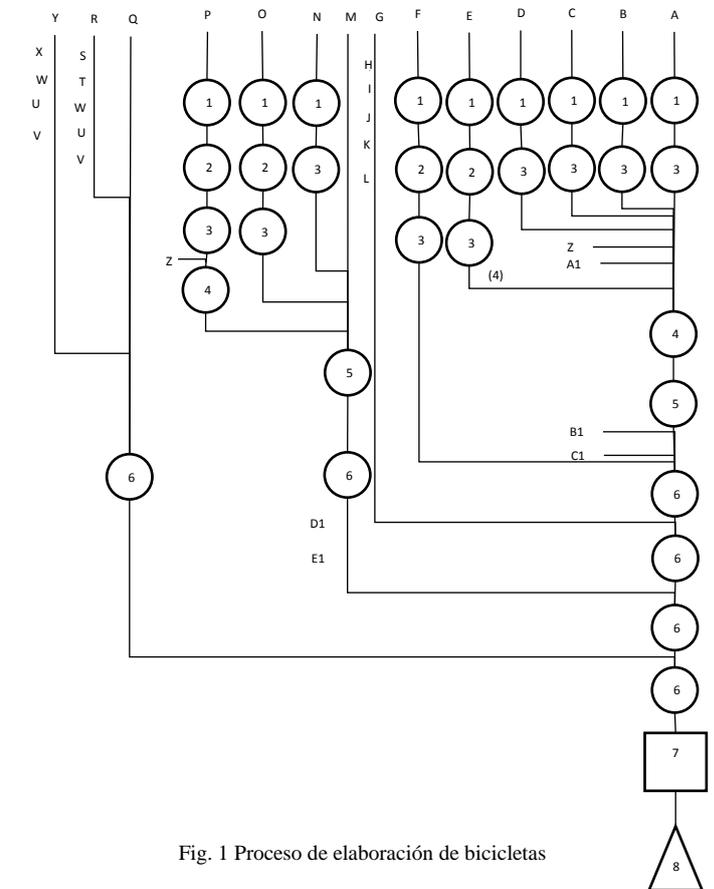


Fig. 1 Proceso de elaboración de bicicletas

La Figura 2, muestra la ubicación de las diferentes etapas de producción en el modelo de simulación de acuerdo a la secuencia de operaciones propuesta.

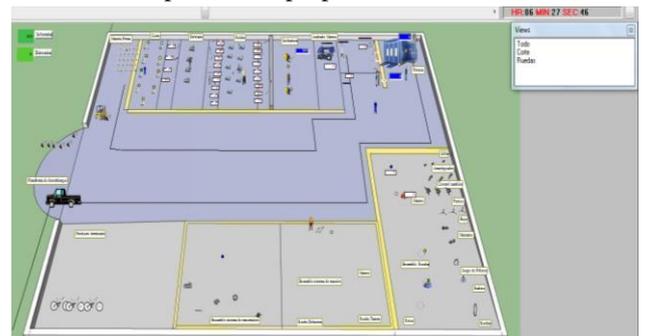


Fig. 2 Representación gráfica del modelo de simulación.

Para los tiempos de operación, el usuario ingresa la información en una interfaz vinculada al modelo y elaborada en hoja de cálculo (tablas II y III), la disposición de las celdas tiene en la parte superior el nombre de las partes a ser procesadas (entidades) en cada una de las estaciones de trabajo, de manera vertical están las diferentes estaciones (locaciones) y en la celda de cruce el usuario ingresa los tiempos de operación estimados ya sean datos determinísticos o probabilísticos para las diversas

operaciones, esto permite que el usuario haga modificaciones y explore diversos escenarios con variaciones en los tiempos a su criterio.

TABLA II

INTERFAZ DE INGRESO DE TIEMPOS DETERMINÍSTICOS

| Locaciones | Entidades | | | | |
|---------------------------|-----------|-------------|----------------|-------|-------------|
| | Tubo | Pieza Marco | Pieza Manubrio | Marco | Rin Trasero |
| AlmTubos | 20 | | | | |
| Corte | 1,5 | | | | |
| TroqMarco | | 3 | | | |
| TroqManubrio | | | 1,75 | | |
| DoblMarco | 3,5 | | | | |
| SoldMarco | 27,5 | | | | |
| DoblManubrio | | | 3 | | |
| Pintura | | | | 5 | |
| BandaPintura | | | | | |
| Ensamble Partes I | | | | 37,5 | |
| Subensamble Rueda Trasera | | | | | 12,5 |

TABLA III

INTERFAZ DE INGRESO DE TIEMPOS PROBABILÍSTICOS

| Locaciones | Entidades | | | | |
|---------------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| | Tubos | Piezas Marco | Pieza Manubrio | Marco | Rin Trasero |
| AlmTubos | U(20, 2.5) | | | | |
| Corte | U(1.5,.5) | | | | |
| TroqMarco | | U(3,.75) | | | |
| TroqManubrio | | | U(1.75,0.25) | | |
| DoblMarco | U(3.5,0.2) | | | | |
| SoldMarco | U(27.5,2.5) | | | | |
| DoblManubrio | | | U(3,1) | | |
| Pintura | | | | U(5,1) | |
| BandaPintura | | | | | |
| Ensamble Partes I | | | | U(37.5,2.5) | |
| Subensamble Rueda Trasera | | | | | U(12.5,2.5) |

IV. DISCUSIÓN

En la ejecución del modelo se considera tener como factor controlado la naturaleza de los tiempos de operación y como medida de desempeño el número de unidades de producción (bicicletas) en un tiempo determinado, así como las tasas de uso. El modelo elaborado se alimenta con datos sobre tiempos de operación manteniendo constantes los demás componentes. Inicialmente se ingresan tiempos determinísticos para los cuales sólo es necesaria una réplica de simulación, posteriormente se ingresan tiempos probabilísticos para las operaciones y se ejecuta el modelo teniendo en cuenta la realización de 20 réplicas en este segundo escenario; los resultados generados por el modelo de simulación son recopilados en hojas electrónicas para su posterior análisis.

TABLA IV

NÚMERO TOTAL DE UNIDADES (BICICLETAS) ELABORADAS EN 50 HORAS DE SIMULACIÓN CONSIDERANDO TIEMPOS DETERMINÍSTICOS.

| Produc. (bicicletas) | Tiempo promedio en el sistema (Min.) | Tiempo promedio en operación (Min.) |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 35 | 1185 | 1178 |

TABLA V

NÚMERO TOTAL DE UNIDADES (BICICLETAS) ELABORADAS EN 50 HORAS DE SIMULACIÓN CONSIDERANDO TIEMPOS ALEATORIOS

| Réplica | Produc. | Tiempo de operación (Min.) | Réplica | Producción | Tiempo de operación (Min.) |
|---------|---------|----------------------------|---------|------------|----------------------------|
| 1 | 34 | 1202,7 | 11 | 35 | 1078,7 |
| 2 | 36 | 1177,5 | 12 | 35 | 1112,5 |
| 3 | 36 | 1037,9 | 13 | 34 | 1096,7 |
| 4 | 34 | 1058,3 | 14 | 35 | 1181,7 |
| 5 | 36 | 1099,0 | 15 | 32 | 1136,4 |
| 6 | 34 | 1170,6 | 16 | 36 | 1075,1 |
| 7 | 35 | 1067,1 | 17 | 33 | 1125,3 |
| 8 | 33 | 1198,4 | 18 | 37 | 1043,0 |
| 9 | 34 | 1227,8 | 19 | 32 | 1230,6 |
| 10 | 34 | 1070,5 | 20 | 37 | 1137,8 |

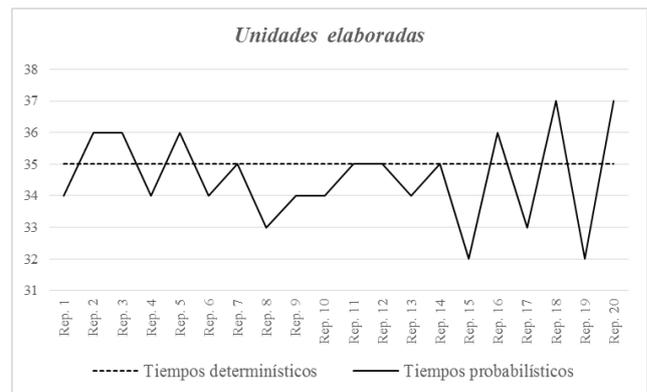


Fig. 3 Variaciones de las unidades elaboradas.

Con el empleo de tiempos determinísticos se logró la producción de 35 unidades en la corrida de simulación, mientras que con la estimación de tiempos probabilísticos los niveles de producción varían en el rango de 32 a 37 unidades en el mismo periodo de tiempo para cada una de las repeticiones realizadas (fig. 3).

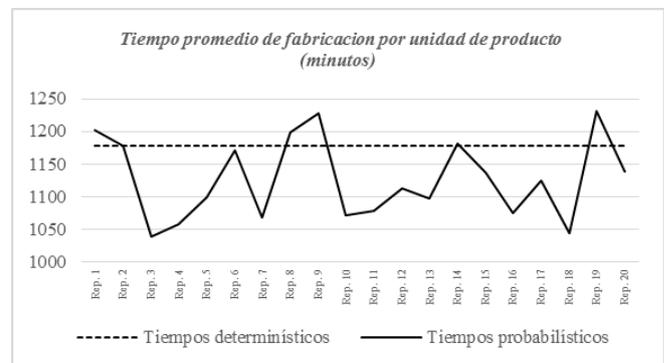


Fig. 4 Variaciones en los tiempos promedio de operación.

En cuanto a los tiempos de operación, cuando se consideran tiempos fijos (determinísticos), se obtiene igual tiempo en todas las repeticiones, 1178 minutos, en tanto que al incluir la variabilidad mediante estimaciones estadísticas, los tiempos promedio de operación varían en un rango entre 1037 y 1230 minutos (fig. 4).

El empleo de tiempos probabilísticos permite que quién administre el proceso tome decisiones confiables, entendiéndose que si trabaja con información totalmente determinística no da lugar a las variaciones propias del sistema natural, a diferencia de cuando se consideran las variaciones, se puede tener mayor confiabilidad en las respuestas a las demandas; en el caso de la situación

analizada, si se considerara únicamente el valor obtenido con tiempos determinísticos (35 unidades) en determinados momentos se presentaría una amplia desviación con los valores obtenidos si se consideran tiempos probabilísticos (32 o 37 unidades), igual ocurre con los tiempos promedio de operación.

En cuanto al nivel de utilización de las áreas de subensamble 1, 2 y 3, se obtienen los valores mostrados en la tabla VI.

TABLA VI
UTILIZACIÓN ÁREAS DE SUBENSAMBLE.
TIEMPOS DETERMINÍSTICOS.

| Área | Porcentaje de Utilización |
|-----------------|---------------------------|
| EnsamblePartes1 | 84,64 |
| EnsamblePartes2 | 90,45 |
| EnsamblePartes3 | 82,28 |

TABLA VII
UTILIZACIÓN DE ÁREAS DE SUBENSAMBLE
TIEMPOS PROBABILÍSTICOS.

| Réplica | % Utilización | | |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
| | EnsamblePartes 1 | EnsamblePartes 2 | EnsamblePartes 3 |
| 1 | 73,39 | 81,98 | 71,3 |
| 2 | 73,36 | 81,06 | 71,64 |
| 3 | 72,88 | 81,63 | 71,97 |
| 4 | 72,44 | 79,94 | 70,93 |
| 5 | 72,71 | 81,05 | 71,38 |
| 6 | 72,74 | 81,06 | 71,36 |
| 7 | 72,01 | 79,8 | 70,28 |
| 8 | 73,06 | 81,08 | 71,3 |
| 9 | 71,99 | 79,18 | 70,19 |
| 10 | 72,73 | 81,14 | 70,74 |
| 11 | 72,73 | 81,24 | 71,33 |
| 12 | 71,62 | 79,8 | 70,72 |
| 13 | 72,57 | 80,77 | 70,2 |
| 14 | 73,8 | 80,26 | 71,41 |
| 15 | 73,48 | 81,92 | 71,3 |
| 16 | 73,02 | 80,58 | 71 |
| 17 | 71,69 | 80,44 | 70,34 |
| 18 | 73,09 | 81,36 | 71,08 |
| 19 | 71,21 | 80,08 | 70,7 |
| 20 | 72,49 | 81,55 | 70,25 |
| Prom. | 72,65 | 80,79 | 70,97 |

Para el área de subensamble 1 se obtuvo un porcentaje de utilización de 84,64% (tabla VI) al emplear tiempos determinísticos, mientras que al incluir aleatoriedad en los datos de entrada se generan utilizaciones en el rango entre 71,21 y 73,8% con un promedio de 72,65 % (tabla VII).

Para el área de subensamble 2 se obtuvo un porcentaje de utilización de 90,45% (tabla VI) al emplear tiempos determinísticos, mientras que al incluir aleatoriedad en los datos de entrada se generan utilizaciones en el rango entre 70,19 y 71,97% con un promedio de 80,79% (tabla VII).

Para el área de subensamble 3 se obtuvo un porcentaje de utilización de 82,28% (tabla VI) al emplear tiempos determinísticos, mientras que al incluir aleatoriedad en los datos de entrada se generan utilizaciones en el rango entre 79,18 y 81,98% con un promedio de 70,97% (tabla VII).

V. CONCLUSIONES

La toma de decisiones en el análisis de procesos aislada del uso de la estadística, conduce a conclusiones erróneas por cuanto desprecia la variabilidad inherente a los mismos procesos.

Una de las herramientas de mayor crecimiento y aplicabilidad para la toma de decisiones sobre procesos productivos es la simulación, sin embargo, su empleo requiere la inclusión de la estadística en todas sus fases, desde la conceptualización del modelo hasta el análisis de resultados, teniendo precaución de no subestimar el empleo del software utilizado ni la riqueza de la información obtenida, por la sobrevaloración de los elementos estéticos de construcción y presentación del modelo.

La modelación de procesos de la realidad, requieren que el tratamiento de los datos asociados el modelo simulado sea coherente con la situación real que se está representando si se tiene en cuenta que la disciplina de generación de eventos en la naturaleza está sujeta a condiciones impredecibles; en este contexto el empleo de la variación provista por el manejo y uso de variables aleatorias asociadas a distribuciones estadísticas permite generar ambientes coherentes con la situación representada en aspectos de variabilidad, interdependencia e incertidumbre, permitiendo análisis más precisos y procesos de toma de decisiones acordes con la situación representada.

La estadística como ciencia, se constituye en una de las herramientas adecuadas en el análisis e interpretación de fenómenos reales permitiendo explicar las relaciones de interdependencia entre las variables asociadas a un sistema.

REFERENCIAS

- [1] J. A. López Cerezo, & P. Valenti, Educación tecnológica en el siglo XXI. Revista Polivalencia 2000.
- [2] A. T. Molina Álvarez, "Didáctica de la Ingeniería: Fundamentos teóricos y metodológicos". Revista MES. 2012
- [3] J. Salinas. "Nuevos ambientes de aprendizaje para una sociedad de la información". Alicante 1997
- [4] E. García Dunna, H. García Reyes, & L. Cárdenas Barrón, "Simulación y análisis de sistemas con Pomodel." México D.F: Pearson Educación 2006.
- [5] J. Giraldo García. "Simulación de sistemas de producción y de servicios." Manizales: Editorial Universidad Nacional de Colombia 2014.
- [6] I. Flores de la Mota, "Conceptos básicos de estadística para simulación" 1a ed. México: Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de México 2011.
- [7] A. Law, & W. Kelton, "Simulation, modeling and analysis" 3a ed. México: Mc GrawHill. 2000
- [8] J. Banks, "Discrete Event System Simulation". Prentice Hall. 2009
- [9] C. Harrel, B. Ghosh. "Simulation using Promodel", First Edition, United States of America, McGraw Hill. 2006.
- [10] C.A. Chung. "Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach". CRC Press. Boca Raton. 2003
- [11] Shannon, R.E., 1988. Systems Simulation The Art and Science, Prentice-Hall
- [12] G. Gordon. "System Simulation" Prentice Hall. 1978