

## Un Modelo digital para la identificación de restricciones en el proceso de ensamblaje de motocicletas

### Using a digital model to identify restrictions in the motorcycle assembly process

DOI: <https://doi.org/10.17981/bilo.3.1.2021.06>

Fecha de Recepción: 01/04/2021. Fecha de Publicación: 05/06/2021

Jesús Jaraba Puerta

[jjarabap26@cuc.edu.co](mailto:jjarabap26@cuc.edu.co)

Universidad de la Costa, CUC. Barranquilla, Colombia

Jeniffer De Ávila Moore

[jdeavila11@cuc.edu.co](mailto:jdeavila11@cuc.edu.co)

Universidad de la Costa, CUC. Barranquilla, Colombia

Leidys Reino Negrete

[lreino@cuc.edu.co](mailto:lreino@cuc.edu.co)

Universidad de la Costa, CUC. Barranquilla, Colombia

Jason Salcedo Ramos

[jsalcedo26@cuc.edu.co](mailto:jsalcedo26@cuc.edu.co)

Universidad de la Costa, CUC. Barranquilla, Colombia

Alexander Troncoso-Palacio 

[atroncos1@cuc.edu.co](mailto:atroncos1@cuc.edu.co)

Universidad de la Costa, CUC. Barranquilla, Colombia

**Resumen.** El sector de la industria automotriz, conformado por las actividades de ensamble de todo tipo de vehículos y, de producción de autopartes, cuenta con una gran variedad de empresas que aportan a la dinámica de la economía mundial, por lo tanto, en el presente proyecto se busca mediante simulación de eventos discretos crear un modelo digital donde se puedan identificar los fallos en el proceso de ensamblaje de motocicleta, de esta manera se logrará detectar toda inconformidad observada y así disminuir pertinentemente todas las fallas presentadas, teniendo en cuenta los factores exógenos que pueden aumentar los costos operacionales y dilatar el proceso de ensamblado, en este caso se quiere implementar un modelo óptimo al simular el proceso sin fallas en el ensamblaje en tiempos de pandemia, esto con el fin de analizar y proponer mejoras en el proceso cuyo objeto es afianzar la toma de decisiones en pro de la satisfacción de los clientes. Al finalizar este estudio se encontró que los problemas de ensamblado estaban más relacionados con la reducción del personal por el aislamiento preventivo y las demoras en el proceso de preparación, debido a esto se recomendaron reducir los tiempos de preparación de 5 a 3.5 horas con el objeto de iniciar en menor

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

BILO vol. 3. No. 1 Enero - Junio, 2021

Barranquilla. ISSN Online 2711-3280.

tiempo el ensamblado y disponer del stock de seguridad de forma inmediata en caso de presentarse daños en las autopartes.

**Palabras claves.** Análisis de ensamblajes, Modelo digital, Identificación de restricciones, Simulación de Eventos Discretos.

**Abstract.** The automotive industry sector, made up of the assembly activities of all types of vehicles and the production of auto parts, has a wide variety of companies that contribute to the dynamics of the world economy, therefore, in this project It is sought by simulating discrete events to create a digital twin where faults in the motorcycle assembly process can be identified, in this way it will be possible to detect any observed nonconformity and thus reduce pertinently all the faults presented, taking into account the exogenous factors that can increase operational costs and delay the assembly process, on this case, we want to implement an optimal model by simulating the process without assembly failures in times of pandemic, this in order to analyze and propose improvements in the process whose objective is strengthen decision-making in favor of customer satisfaction. At the end of this study, it was found that the assembly problems were more related to the reduction of personnel due to preventive isolation and delays in the preparation process, due to this it was recommended to reduce preparation times from 5 to 3.5 hours in order to start the assembly in less time and have the safety stock immediately in case of damage to the auto parts.

**Keywords.** Assembly Analysis, Digital Model, Constraint Identification, Discrete Event Simulation.

## 1. Introducción

Debido a la globalización y a los avances tecnológicos las empresas se ven en la necesidad de aplicar nuevas estrategias y de adquirir tecnología de punta para así ganar posicionamiento en el mercado; las industrias deben ser más competitivas para sobrevivir en un entorno cada vez más dinámico, por lo que requieren diferentes enfoques metodológicos para hacer más eficientes sus operaciones [1]. En los sectores automotriz y de aviación los modelos digitales se están volviendo herramientas esenciales e indispensables para optimizar todas las cadenas de valor de la fabricación e innovar productos nuevos [2] Este trabajo está orientado a la aplicación de las temáticas infundidas en el área de simulación del Programa de Ingeniería Industrial; y está enfocado en el desarrollo y emulación de sistemas que permitan mejorar la toma de decisiones de una compañía sin que se vea afectado sus actividades operacionales, a través de estudios de eventos discretos para entender el comportamiento y desempeño de cada uno de los procesos sin alterar el estado del sistema. Al no afectar el sistema real se permite experimentar en el modelo y responder a las necesidades de mejora o la asimilación de factores exógenos que pueden afectar la producción. Diversos autores [3, 4, 5, 6], resaltan la importancia de la simulación de eventos para identificar fallos o errores en el sistema real y a su vez propende disponer de herramientas que orienten al uso de elementos u entes que no están dentro del sistema, modificar sus atributos, acelerar o disminuir tiempos requeridos para un determinado proceso con el objeto de obtener mayores beneficios ya sea en tiempo, reducción de costos, la utilización adecuada de espacios y el mejor uso de recursos agotables. [7], atribuyen a la simulación como una manera de obtener una historia artificial del sistema y a partir del análisis lograr obtener conclusiones relativas a las características de la operación del sistema real, estudiando su conducta y desempeño del mismo logrando brindar información como la máxima capacidad de operación y la estimación real de los tiempos de producción.

## 2. Revisión de la literatura

Para la toma de decisiones es necesario contar con información que sea cuantificable, que permita conocer de manera tácita los diferentes eventos que puedan ocurrir, con la simulación se busca visualizar la operación de manera que se pueda demostrar claramente ventajas y desventajas de un sistema para el desempeño objetivo. [8], esta técnica es bastante económica, solo emplea un software y una persona capacitada para generar varios modelos, lo cual permite que Enel evento en que se equivoque no cause daños en el modelo real y pueda corregir sin incurrir en gastos locativos; por lo cual, estas herramientas están conduciendo a que las compañías implementen cambios en la toma de decisiones y sus estrategias de dirección [9] debido a esto el estar al día con las innovaciones se ha vuelto algo indispensable.

Se realizó revisión de literatura de modelos de simulación de eventos discretos orientados al ensamblado de autopartes y los diferentes puntos operación como son la recepción de material para ensamblado, la logística, costos y gastos normales de un sistema que no ha sido impactado por el contexto actual (reducción de personal, aislamiento preventivo,

problemas logísticos, etc.). Sin embargo, no hay que dejar de lado el hecho de que los errores humanos siempre se ven implicados en los resultados finales del proceso en que se esté trabajando [10] es por eso que se debe poseer una mejor comprensión de lo que el aspecto humano en la contribución de los fallos significa para así tenerlo siempre en cuenta en la toma de decisiones. [11] en esta investigación se confirma que la simulación es uno de los métodos muy comúnmente utilizados para construir modelos digitales que sus componentes tienen comportamiento aleatorio, los cuales como son estadísticos, requerirán de diseño de experimento, siendo estos muy diferentes al comportamiento de modelos analíticos [12, 13]. Para nuestro modelo digital se decidió utilizar el software Arena en vista de que [14] lo define como una de las herramientas para la construcción de modelos más popular. El enfoque de diagramas de flujo para la construcción de modelos tiene más sentido para los ingenieros que deben documentar un proceso para modelarlo y analizarlo con precisión, por lo que esto lleva a que la metodología de diagramas de flujo de Arena sea más fácil de aprender que otras herramientas de simulación. [15]

### 3. Metodología

Con el objeto de identificar los fallos que pueden presentarse en el ensamblado de autopartes, se analizaron las variables que han sido afectadas por factores exógenos y que alteran de manera negativa el sistema, las cuales fueran puestas en consideración en diferentes eventos, emulando los valores obtenidos y haciendo una comparativa con los resultados normales de operación. Los datos de entrada fueron tomados con el complemento de Input Analyzer para establecer los tipos de distribución. Se establece un Layout de recorrido, desde el ingreso de materia prima hasta el bodegaje del artículo final con el objeto de conocer el funcionamiento de las estaciones, el impacto del tiempo en el recorrido de materiales, herramientas y mano de obra. Al no poder realizar visitas de campo, se utilizó el método de análisis de datos aleatorios, con un porcentaje de error del 10%

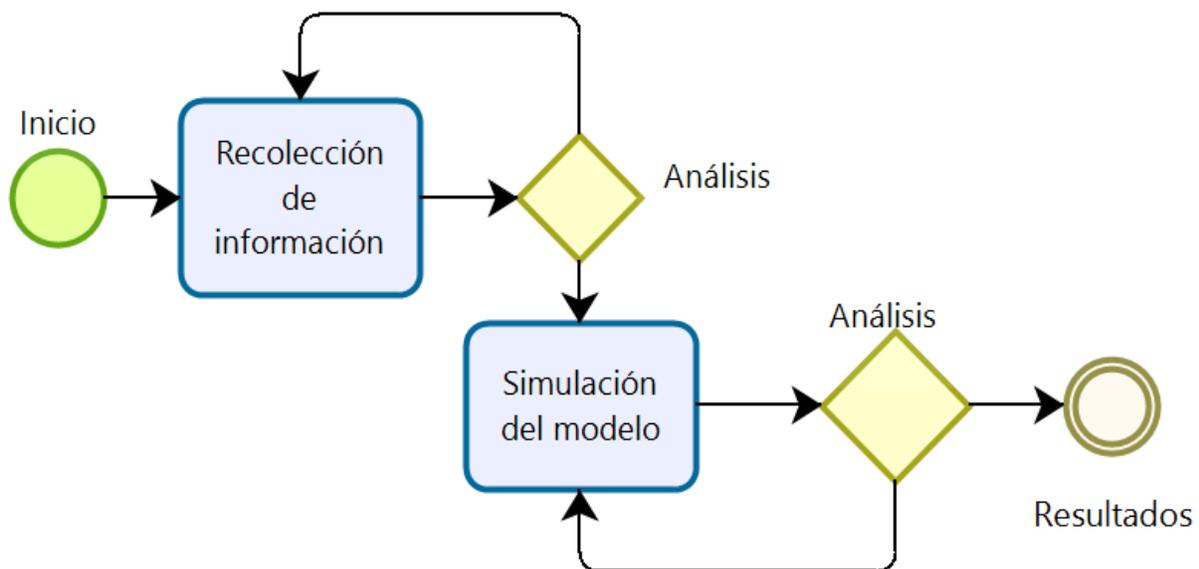


Fig. 1 Flujograma de la secuencia metodológica.

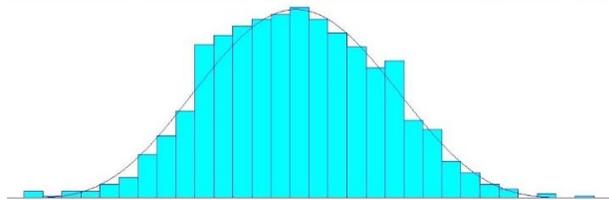
### 4. Desarrollo

El procedimiento a seguir para el ensamblaje de las partes es igual en todas las ensambladoras, razón por la cual se toma el siguiente escrito.

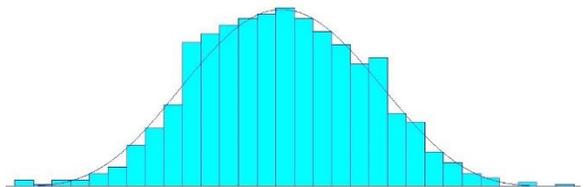
*Las motos llegan en lotes, pasan primero al depósito de materia prima, luego a la sección de preparación para el ensamble, de allí a la línea de producción, continuando por control de calidad, posteriormente por embalaje y finalmente al depósito de producto terminado. Cuando se encuentran piezas dañadas o faltantes la reposición tarda entre 4 o 5. Se debe tener un stock de seguridad para piezas que en caso de faltar no es posible ensamblar la moto [16]*

Luego de tener claridad en lo que consiste el proceso de ensamblaje como se mencionó con anterioridad, se decidió que para la simulación de este proceso se utilizaría el software Arena, el cual permite analizar y visualizar el proceso en su totalidad permitiendo evidenciar los posibles fallos que se puedan presentar durante este proceso, y así poder dar recomendaciones. Para este proceso se deben realizar las pruebas de bondad de ajuste para verificar que las distribuciones seleccionadas se aproximan lo suficiente a los datos del sistema real [17, 18] aquellos tiempos que serán utilizados en la simulación también serán obtenidos de dicha prueba para así verificar si estos comportamientos se asemejan a los datos recolectados. [19]

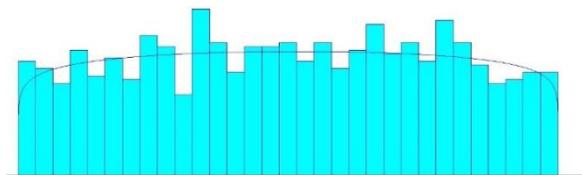
Toda esta recolección de datos se realiza utilizando la herramienta Input Analyzer.



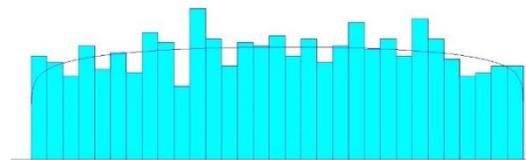
**Fig. 2** Comportamiento Submontaje



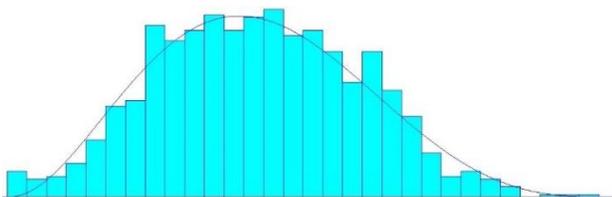
**Fig. 3** Resultado de la Prueba funcional



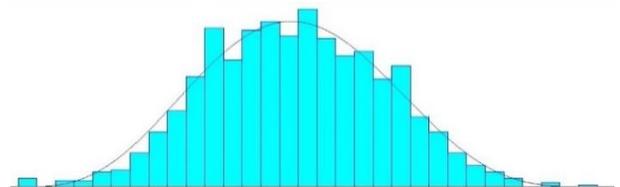
**Fig. 4** Stock



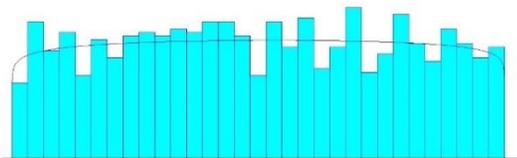
**Fig. 5** Proceso de Ensamblado



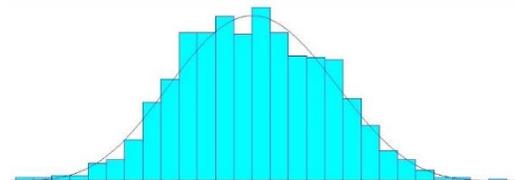
**Fig. 7** Tiempos de la Estación IV



**Fig. 8** Prueba de la Estación III



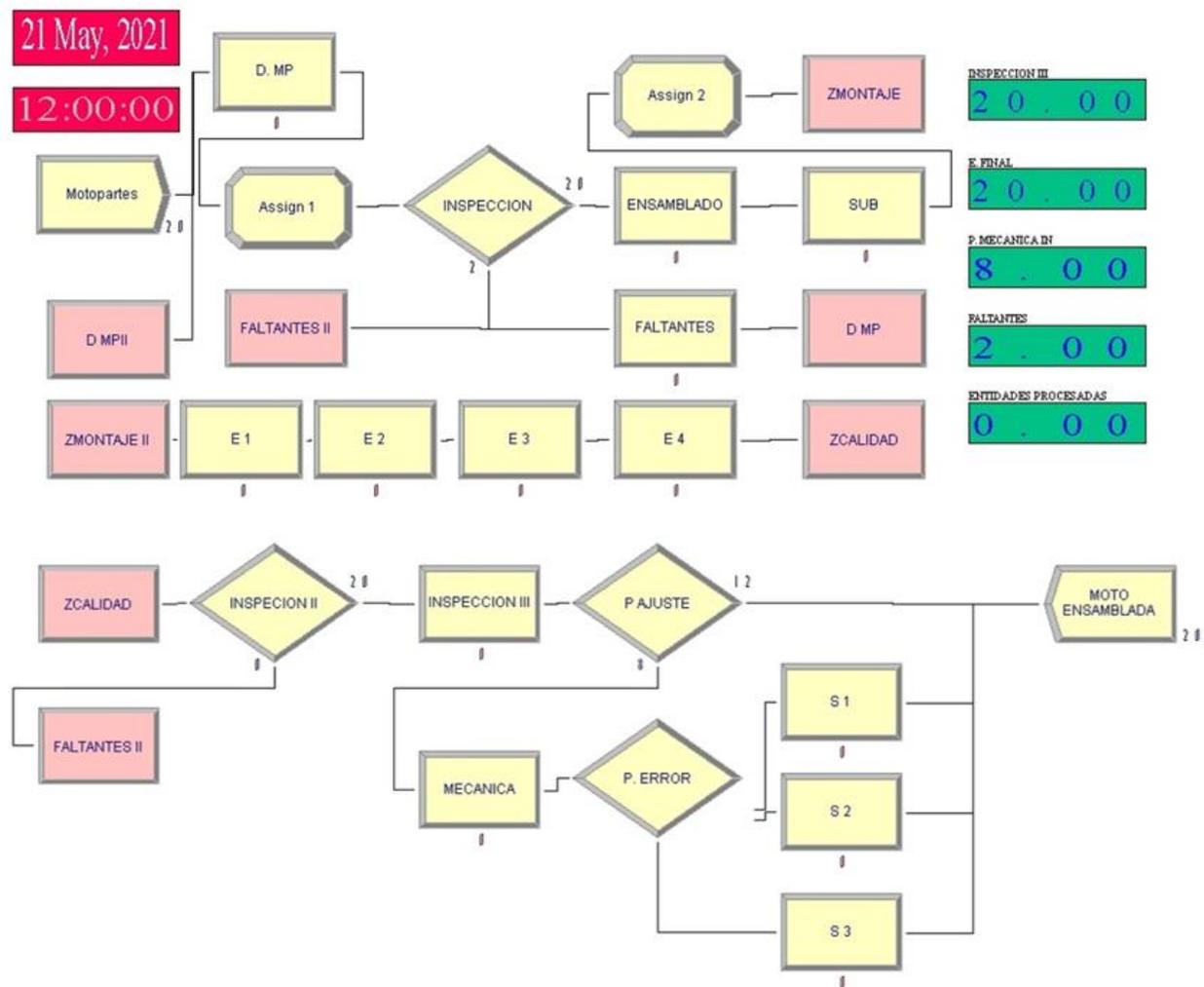
**Fig. 9** Comportamiento tiempos de la Estación II



**Fig. 10** Tiempos de la Estación I

El modelo en la interfaz del software se muestra a continuación en la figura 11

# Simulación en el Software Arena



**Fig. 11** Modelo digital del proceso en el software Arena

A continuación, se relacionan consideraciones según otras investigaciones que se deben tener en cuenta en el ensamblaje.

*En esta etapa, se considera especialmente la condición ergonómica de los operarios, se utilizan aparatos neumáticos, y en caso de no estar disponibles se les da mayores suplementos. El sub montaje es el primer paso, se realiza en la mesa de subconjuntos y se necesita un operario, cada takt time se tiene un subconjunto listo. Luego se pasa a la línea de montaje, la misma está compuesta por cuatro estaciones en las que se realizan distintas operaciones, todos los puestos necesitan dos*

operarios. La primera operación (no considerada en ningún puesto) es el estampado del número de VIN (Vehicle Identification Number), lo realiza un solo operario que a su vez participa en el primer puesto [16].

#### 4.1 Breve descripción de las tareas, controles, y análisis de errores

A continuación, se relaciona una breve descripción de las tareas, controles y análisis de errores, en el proceso de ensamblaje de motocicletas ya conocido y divulgado por otros autores, donde se describe que:

*En la primera estación se cuelga el chasis a la línea de producción, se le adiciona y cinta adhesiva, se coloca el cable principal, el exosto, el relé y los sensores. En la segunda estación se une el chasis con el motor, se colocan la horquilla delantera, la rueda trasera y terminan la suspensión. En la tercera estación se realiza la regulación de la motocicleta, conformada por el embrague, el freno, el acelerador y las cadenas, entre otros. En la cuarta estación se realiza la inspección visual y el torque conforme a los requerimientos y se carga el programa de la moto. Una vez finalizadas las cuatro estaciones se tiene una moto ensamblada. En promedio, el 2% de las motos ensambladas pasan al stock de motos con faltante antes. Una vez reparadas continúan el proceso. Se debe realizar un segundo control de calidad de las piezas a utilizarse, en caso de considerar que alguna pieza pueda estar dañada se le aparta y será revisada posteriormente por el equipo de calidad. Una vez ensamblada la moto, se le carga una pequeña cantidad de combustible y se realiza una prueba funcional de todas las motos en un banco de prueba, la cual tarda aproximadamente 10 minutos. El 80% de estas motos tiene un error del tipo 1, que es solucionado en menos de 20 minutos; el 13% tiene un error del tipo 2, el cual se soluciona en menos de 30 minutos; el 7% restante un error del tipo 3, que tarda más de 35 minutos en ser solucionado [16].*

#### 5. Conclusión

Podemos concluir que un Modelo digital representa beneficios en representar un proceso físico a la virtualidad, principalmente nos permite visualizar el desempeño del producto vivo y posteriormente irlo mejorando. El proceso de ensamble de motocicletas nos demuestra cómo ha avanzado la tecnología e innovación, por medio de este caso podemos percibir como un modelo digital nos muestra a través de, análisis, rastreos, comparaciones de datos e incluso discrepancia de datos, esto con el fin de llevar un control a toda la transformación de este modelo. Al ejecutar una simulación utilizando el software Arena, los detalles en ciertas decisiones son más fáciles de entender y se obtiene un resultado positivo con mayor certeza [20]. Poseer este tipo de tecnologías en nuestra zona de trabajo nos da la posibilidad de detectar errores en nuestras estaciones de trabajo de manera más rápida y a menor costo por lo que sin duda recomendamos invertir en estos tipos de innovación para no solo mantenerse a la vanguardia de los procesos actuales, sino también para poder suplir con las necesidades de la planta con mayor eficiencia.

Con este proyecto ya finalizado, concluimos y mostramos la importancia que tiene la simulación de sistemas en cualquier tipo de proceso, puesto que gracias a este sistema logramos evaluar con precisión el modelo lógico-matemático de un estudio real. La simulación acorta los ciclos de análisis y diseño y garantiza mejores resultados optimizados al permitir investigar un mayor número de variantes [21]

#### Referencias

- [1] R. Calderón-Andrade, E. S. Hernández-Gress y M. A. Montufar-Benítez, «Productivity Improvement through Reengineering and Simulation: A Case Study in a Footwear-Industry,» *Applied Sciences*, vol. 10, n° 5590, 2020.
- [2] S. Buchholz, «Tendencias de tecnología 2020,» 2020.
- [3] W. D. Kelton, R. P. Sadowski y D. T. Sturrock, *Simulation with Arena*, New York: Mc Graw Hill, 2008.

- [4] M. Kotachi, «A Modeling and Simulation Platform for Evaluating Optimization Methods in Container Terminals,» de *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, EE. UU, 2016.
- [5] E. Liu, B. Guo, L. Lv, W. Quiao y M. Azimi, «Numerical Simulation and Simplified Calculation method for heat exchange performance of cry air cooler in natural gas pipeline compressor station,» *Energy Science and Engineering*, vol. 8, n° 6, pp. 2256-2270, 2020.
- [6] Angelopoul Anastasia, Nithisha ReddyBoyapatia y Konstantinos Mykoniatis, «Industry 4.0: The use of simulation for human reliability assessment,» *Procedia Manufacturing*, vol. 42, pp. 296-301, 2020.
- [7] O. D. Quiroga, G. Rossetti, L. M. Arcusin y D. Costa, «Modelos de simulación para el estudio de empresas productivas,» *Virtual Pro*, pp. 24,25, 2009.
- [8] H. R. Álvarez A, *Introducción a la Simulación. Documento para acompañar a los cursos de Diseño de Sistemas Estocásticos*, U. T. d. Panama, Ed., Ciudad de Panama, 2011.
- [9] N. Quintero, N. Africano y E. Faría, «Clima Organizacional y Desempeño Laboral del Personal Empresa Vigilantes Asociados Costa Oriental Del Lago,» *Negotium: Revista de Ciencias Gerenciales*, vol. 3, n° 9, 2008.
- [10] K. Salas Arias, C. Madriz Quiros, O. Sanchez Brenes, M. Sanchez Brenes y J. Bautista Granados, «Factores que influyen en errores humanos en procesos de manufactura moderna,» *Tecnología en Marcha*, vol. 31, n° 1, pp. 22-34, 2018.
- [11] J. Shapiro, *Modelling the Supply Chain*, Duxbury, Estados Unidos, 2001.
- [12] Troncoso Palacio Alexander, Sanchez Comas Andres y Gonzalez Coneo Jorge, «Discrete Events Simulation Method for Analyze Cycle Time: A Case Study in the Plastics Industry Sector,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 844, 2020.
- [13] T. Ahumada-Morales, H. Casalins-Barrios, Y. Mercado-Guardiola y A. Troncoso-Palacio, «Utilización de Simulación de Eventos Discretos para analizar una propuesta de mejora en los costos de almacenamiento,» *Boletín de Innovación, Logística Y Operaciones*, vol. 3, n° 1, pp. 1-10, 2021.
- [14] S. D. Kulkarni, V. Roshni, S. Varshitha, M. V. Sandeep, T. Monish y V. Venkataraman, «Modelling the patient flow in an Out Patient Department (OPD) of a hospital using simulation techniques,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1059, 2021.
- [15] Ailling, Chee, «Facility layout improvement using systematic layout planning (slp) and ARENA,» *Virtual Pro*, 2009.
- [16] T. Bianchi, F. Chiaro, V. Labat, M. Raffo y M. Tommasi, «Producción y comercialización de motocicletas TVS,» Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Tutor Marcos Ferrari, 2017.
- [17] P. De Antonio, «Simulación del servicio logístico de DADA a VW,» 2012.
- [18] L. Moran Carreño, «Diseño y simulación de una red backhaul basada en IP/MPLS de alta disponibilidad utilizando técnicas de Ingeniería de Tráfico y calidad de servicio,» Repositorio Digital Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2021.

- [19] V. Torres Sarmiento, «Modelo de Simulación para el proceso de descargue en la empresa palmeras de puerto wilches S. A.» Repositorio Institucional Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.
- [20] I. Radulescu, A. C. Tociu y A. V. Radulescu, «Modeling and simulating the activities in an automobile repair shop using ARENA software – part 1,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 997, 2020.
- [21] B. Husain, «Gemelos digitales y simulaciones,» 2019.