

The importance of using simulations in industrial process automation: a case study in a water bottling company

Daniel A. Pérez-Aguilar, Eng.D.^{1,2}, Cencis Cabrera-Marín, Bach.¹, Cesar Cacho-Gutierrez, Bach.¹, Esther Paz-Lozano, Bach.¹, Jhon Rudas-Cotrina, Bach.¹, Piero Sagastegui-La-Torre, Bach.¹, and Manuel Malpica Rodríguez, Dr.¹

¹Universidad Privada del Norte (UPN)-Cajamarca, Perú

²Universidad Tecnológica del Perú (UTP) - Lima, Perú

daniel.perez@upn.pe, N00018155@upn.pe, N00018303@upn.pe, N00030144@upn.pe, N00032902@upn.pe, N00033173@upn.pe, manuel.malpica@upn.pe

Abstract—In this article, the automation of a bottling plant in northern Peru is presented with the aim of improving efficiency and productivity. The main problem identified in the plant was the lack of use of any simulation software to analyze possible events in the production area, as all processes were performed manually. In order to resolve this problem, the ProModel programming software was used to analyze factors such as the number of operators, locations and entities. The simulation allowed for a better outcome and a more efficient simulation model was built, allowing for the measurement and standardization of the associated process operations.

Keywords—ProModel, Simulation, Automation, Industrial Processes, Efficiency.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Importancia del uso de simulaciones en la automatización de procesos industriales. Un caso de estudio en una empresa embotelladora de agua.

Daniel A. Pérez-Aguilar, Eng.D.^{1,2}, Cenecis Cabrera-Marín, Bach.¹, Cesar Cacho-Gutierrez, Bach.¹, Esther Paz-Lozano, Bach.¹, Jhon Rudas-Cotrina, Bach.¹, Piero Sagastegui-La-Torre, Bach.¹, and Manuel Malpica Rodríguez, Dr.¹

¹Universidad Privada del Norte (UPN)-Cajamarca, Perú

²Universidad Tecnológica del Perú (UTP) - Lima, Perú

daniel.perez@upn.pe, N00018155@upn.pe, N00018303@upn.pe, N00030144@upn.pe, N00032902@upn.pe, N00033173@upn.pe, manuel.malpica@upn.pe

Resumen—En este artículo se presenta la automatización de una planta de embotellamiento en el norte del Perú, con el objetivo de mejorar la eficiencia y productividad. El principal problema que se identificó en la planta era la falta de uso de algún software de simulación para analizar los posibles eventos en el área de producción, ya que todos los procesos se realizaban manualmente. Con la finalidad de resolver este problema, se utilizó el software de programación ProModel para analizar factores como la cantidad de operadores, locaciones y entidades. La simulación permitió obtener un mejor resultado y se construyó un modelo de simulación más eficiente que permitió medir y estandarizar las operaciones asociadas del proceso.

Palabras clave—ProModel, Simulación, Automatización, Procesos industriales, Eficiencia.

Abstract—In this article, the automation of a bottling plant in northern Peru is presented with the aim of improving efficiency and productivity. The main problem identified in the plant was the lack of use of any simulation software to analyze possible events in the production area, as all processes were performed manually. In order to resolve this problem, the ProModel programming software was used to analyze factors such as the number of operators, locations and entities. The simulation allowed for a better outcome and a more efficient simulation model was built, allowing for the measurement and standardization of the associated process operations.

Keywords—ProModel, Simulation, Automation, Industrial Processes, Efficiency.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha sido cada vez más común la implementación de sistemas de automatización en plantas industriales con la finalidad de mejorar los procesos de producción [1]. Estos sistemas incluyen modelos de control y optimización que permiten plantear soluciones a posibles problemas en tiempo real. La automatización industrial ha tenido un impacto significativo en la eficiencia y productividad de las plantas, y su adopción continúa expandiéndose en todo el mundo [2].

La automatización industrial ha cobrado un papel cada vez más importante en el funcionamiento de las empresas manufactureras. La automatización se ha convertido en un aspecto esencial para garantizar la eficiencia y eficacia en los procesos productivos [3]. El término "sistemas industriales de automatización" se refiere a aquellos componentes tecnológicos que buscan sustituir completamente la intervención humana en los procesos industriales. Este enfoque busca mejorar la seguridad y reducir los errores y costos asociados con la intervención humana en los procesos productivos. Además, la automatización industrial también contribuye a la optimización de los procesos productivos, permitiendo un monitoreo constante y una gestión más eficiente de los recursos. En general, se puede afirmar que la automatización industrial es un aspecto clave para el éxito de las empresas manufactureras en la actualidad [4].

En el contexto industrial, la automatización tiene como objetivo principal mejorar la calidad y eficiencia de los procesos de producción, lo que se traduce en un valor añadido a los productos finales. Esto se logra mediante la eliminación de la intervención humana y la implementación de sistemas que permiten controlar y monitorear los procesos de transformación de materias primas a productos terminados, logrando así una mayor precisión y uniformidad en las características finales de los productos. En resumen, la automatización industrial es un factor clave en la mejora continua de la calidad y eficiencia de los procesos de producción, lo que a su vez contribuye al éxito de las empresas manufactureras [5].

En [6] se evidencia que la aplicación ProModel juega un papel importante en la realización de simulaciones, permitiendo crear modelos de sistemas que plantean posibles soluciones a problemas evaluados en módulos delimitados por el analista. Sin embargo, también se tienen en cuenta las características y efectos del entorno. Esta es una herramienta fundamental para analizar el diseño y la operación de sistemas o procesos complejos. Además, se describen los resultados de la simulación a través de cuatro experimentos, los cuales buscan, entre otras cosas, estimar el desempeño del sistema ante diferentes niveles de demanda y proyectar escenarios bajo supuestos variables, como reemplazo de equipos y mantenimientos. La robótica industrial es una parte visible de la automatización actual. Esta tecnología presenta diversas

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

ventajas, tales como la repetitividad, un control de calidad más estricto, una mayor eficiencia, integración con los sistemas empresariales, un aumento de productividad y una reducción de trabajo manual. Sin embargo, también existen desventajas asociadas a la robótica industrial, como la necesidad de un gran capital inicial, una disminución en la flexibilidad y un aumento en la dependencia del mantenimiento y reparación [7].

La herramienta de simulación ProModel es un recurso valioso que permite evaluar y comprender el comportamiento de los escenarios en un sistema real [8]. Al permitir el análisis de diferentes situaciones, la simulación ProModel contribuye en la toma de decisiones para optimizar el sistema y mejorar su productividad y eficiencia [9]. Además, ha demostrado ser una herramienta efectiva para solucionar problemas y aumentar la eficiencia en la producción [10]. La simulación de un proceso empresarial enfocada en la gestión de bodegas permite visualizar y analizar los procesos para optimizar un sistema existente o crear uno nuevo más eficiente en una empresa embotelladora. La creación de modelos de sistemas tiene como objetivo proponer soluciones a problemas reales en la empresa y la correcta simulación de decisiones es esencial para apoyar la planificación, diseño, control, etc. [11].

En [12] se indica que la simulación apropiada de decisiones brinda un conjunto de directrices que permiten planificar, diseñar, controlar, etc. A pesar de que esta herramienta permite un aumento en la producción en los próximos años, es necesario evaluar y re-diseñar para evaluar el rendimiento y la dinámica de las líneas de producción. Para lograr esto, es importante enfocarse en el problema principal y simular desde la recepción de material hasta el producto terminado y almacenamiento.

En [13] se señala que la evaluación y selección del diseño de una instalación puede ser mejorada a través del uso de un enfoque híbrido de simulación. La demanda de productos puede ser aumentada a medida que la empresa mejore su distribución, optimice sus decisiones y brinde un buen servicio al cliente. Al lograr una buena productividad con un costo mínimo y una mayor ganancia, la automatización juega un papel importante en la instalación de embotellado y envasado de bebidas. Los resultados demuestran que los recursos se utilizan de manera óptima, reduciendo los tiempos muertos y mejorando la cantidad de paquetes de cervezas y refrescos.

Adicionalmente, en [14], se realizó una propuesta de automatización de procesos, concluyendo que uno de los elementos más cruciales en la ingeniería industrial es el análisis de métodos, que tiene como objetivo maximizar la eficiencia de los procesos utilizados. Esta herramienta utiliza diagramas de operaciones, flujo y recorrido como principales instrumentos para analizar la situación actual y sugerir mejoras en los procesos en estudio

Parafrasear en español y lenguaje formal: En la actualidad existen diversas fuentes de información sobre automatización. Se plantean distintos puntos de vista sobre los motivos y objetivos de los proyectos de automatización industrial, que se entienden como la gestión de información en las empresas para

la toma de decisiones en tiempo real. La automatización incorpora la informática y el control automatizado para la ejecución autónoma y eficiente de procesos diseñados siguiendo criterios de ingeniería y alineados con los objetivos de la dirección empresarial. La presencia de sistemas automáticos en los procesos tecnológicos garantiza su optimización sin necesidad de intervención humana [15].

La automatización de procesos mejora la eficiencia y productividad de la producción, al ejecutar de manera autónoma cada acción. Esto conduce a una producción continua y evita los reprocesos debido a errores en el llenado u operación de roscado, lo que a su vez reduce tanto los tiempos como las actividades en el proceso [16].

En este informe se presenta una aplicación utilizando el software ProModel, enfocándose en la implementación de simulaciones. Se describen las funciones que cumplirá la automatización en cada proceso de producción y se evalúan las ventajas y desventajas de su implementación, así como los costos asociados.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación es descriptiva, ya que los datos son recolectados y analizados sin manipulación alguna en un periodo determinado, de acuerdo con esto se formula el problema y se plantea soluciones óptimas y eficientes. Esta investigación se basó en fuentes existentes en el registro de los tiempos de embotellado en la línea de producción de desinfectantes [17].

El método de investigación desarrollado en esta investigación se ve reflejado en cuatro etapas (ver Fig. 1).

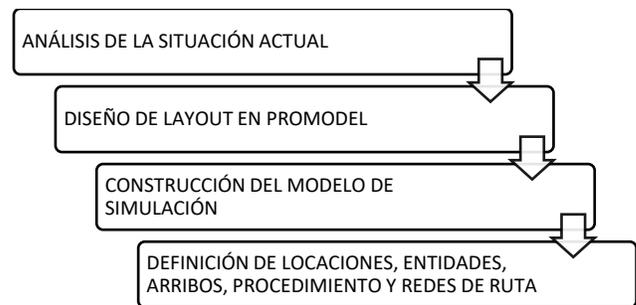


Fig. 1. Etapas de desarrollo del Proyecto.

La investigación se desarrolló en una empresa embotelladora que desarrolla todas sus actividades manualmente lo cual esto hace que exista un sobre esfuerzo por parte los trabajadores, como también obliga a realizar tareas repetitivas estas causan que en el proceso se encuentren cuellos de botellas o paradas no programadas de una manera perjudicando la producción óptima de embotellamiento, además de tener una ergonomía deficiente entonces para no obtener resultados negativos es necesario automatizar cada una de las áreas de la empresa, en tal manera se logre eliminar los cuellos de botella y mejorar la ergonomía de cada uno de los trabajadores.

En el proceso de producción involucran grandes tareas o procesos repetitivos, debido a ello surge la necesidad de aplicar la automatización industrial ofreciendo diferentes ventajas como: aumento de la productividad, reducción de costos, mejorar la calidad de producto, aumento de seguridad laboral, flexibilidad de producción, la integración de nuevos equipos. La aplicación ProModel fue tomada como herramienta principal en la realización de simulaciones relacionadas con la automatización de los procesos productivos. Este software se basa en simulación de eventos discretos que se utiliza para evaluar, planificar, diseñar y mejorar sistemas de fabricación, logística y otros sistemas operativos nuevos o existentes [18].

El proceso de la empresa se muestra en la Fig. 2 y consiste en varios pasos. Comienza en el almacén con la recepción de tanques, seguido por el llenado de los mismos. Después, se lleva a cabo el lavado y secado con filtraciones de arena y carbón activado, así como filtraciones de malla Smic e Imic. A continuación, se pasa a la mesa de envasado, donde se lleva a cabo la inspección del PH y cloro antes de responder con una preforma si el agua está lista para el envasado. Después, se sellan y se inspeccionan las tapas, se pegan las etiquetas, se inspecciona la fecha de vencimiento, se sellan los precintos y se lleva a cabo una inspección general, lo que significa el final del proceso. Finalmente, se hace una inspección general en el área de etiquetado y sellado, donde el proceso completo concluye.

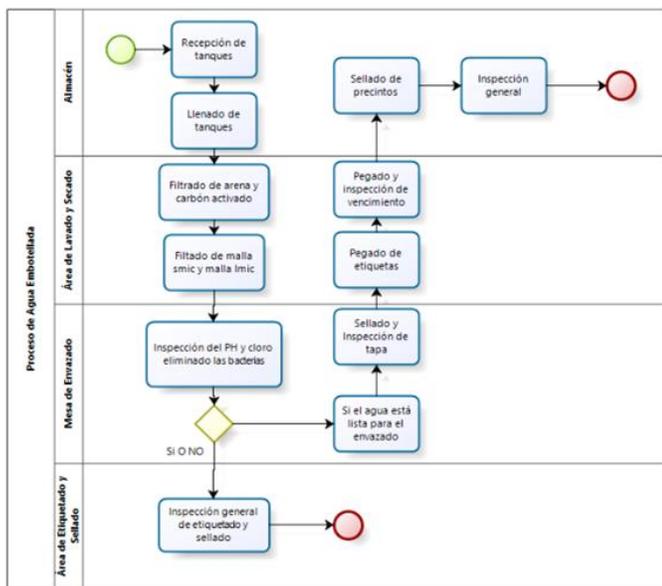


Fig. 2. Proceso de agua embotellada.

Para realizar la simulación de la embotelladora se llevaron a cabo los siguientes pasos:

A) Definición de locaciones.

En esta etapa, se eligió una figura que se ajuste al proceso de embotellamiento de agua y se seleccionaron seis locaciones, tal como se aprecia en la Fig. 3.



Fig. 3. Elección de locaciones.

B) Nombramiento de locaciones.

Se asignó un nombre a cada locación elegida y se ajustaron algunos aspectos como el color, tipo de letra y capacidad (ver Fig. 4).

| Icono | Nombre | Cap. | Unidades | TMs... | Estadist | Reglas... |
|-------|--------------------------|------|----------|---------|-----------------|------------|
| | AREA_DE_PRODUCION | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |
| | ALMACEN | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |
| | AGUA | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |
| | ETIQUETAS | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |
| | ENVASES | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |
| | ETIQUETADORA_Y_SELLADORA | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |
| | ZONA_DE_ENVASE | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |
| | LAVADO | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |
| | ZONA_DE_DESPACHO | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |
| | MESAS_DE_SECADO | 1 | 1 | Ninguna | Serie de tiempo | Más Tiempo |

Fig. 4. Nombrar locaciones.

C) Colocación de contadores.

Se agregaron gráficas a cada locación con el objetivo de indicar el flujo de materia prima y se colocaron contadores para registrar la entrada y salida de material (ver Fig. 5).

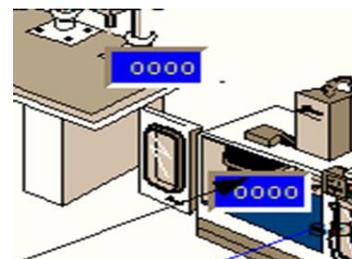


Fig. 5. Colocación de contadores.

D) Opción entidades.

Escogemos 8 entidades las cuales son parte del proceso de Se seleccionaron ocho entidades relacionadas con el proceso de embotellamiento y se asignó un nombre y velocidad a cada una (ver Fig. 6).

| Icono | Nombre | Velocidad (mpm) | Estadist |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|
| | Materia_prima | 50 | |
| | bidon_de_agua | 50 | Serie de tiempo |
| | prenda_secar | 50 | Serie de tiempo |
| | prenda_mojada | 50 | Serie de tiempo |
| | botella | 50 | Serie de tiempo |
| | litro_bidon | 50 | Serie de tiempo |
| | medio_bidon | 50 | Serie de tiempo |
| | ur_bidon | 50 | Serie de tiempo |

Fig. 6. Elección y nombramiento de entidades.

E) Colocación de arribos.

Se consideró la materia prima como una combinación de diferentes productos y se estableció la cantidad de arribos que llegarán al área de etiquetado y sellado (ver Fig. 7).

| Entidad... | Locación... | Cant. por Arrib... | Primera loc... | Cuencias | Frecencia | Lógica... | Destab. |
|---------------|-----------------|--------------------|----------------|----------|-----------|-----------|---------|
| Materia prima | ENVASES | 5 | | infinte | 10 | | |
| Materia prima | ETIQUETAS | 10 | 0 | infinte | 10 | | No |
| Materia prima | AGUA | 10 | 0 | INFINITE | 10 | | No |
| Materia prima | MESAS DE SECADO | 1 | 0 | INF | 1 | | No |

Fig. 7. Elección y nombramiento de entidades.

F) Procesamiento.

Se estableció el orden lógico de la producción, desde que ingresa la materia prima hasta que se obtiene el producto terminado. Cada entidad se va transformando a medida que pasa por las diferentes locaciones en el proceso de embotellamiento de agua (ver Fig. 8).

| Entidad... | Locación... | Operación... | IBK | Salida... | Destino... | Regla... | Lógica de Movimiento... |
|-----------------|--------------------------|----------------------------------------|-----|---------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| Materia prima | AGUA | | | Materia prima | ETIQUETADORA Y SELLAD | FIRST 1 | Move for 3 |
| Materia prima | ETIQUETADORA Y SELLADORA | GET Operario_AWAIT 30FREE Operario_A | | | | | |
| Materia prima | ETIQUETAS | | | | | | |
| Materia prima | LAVADO | GET Operario_AWAIT 30FREE Operario_B | | | | | |
| Materia prima | ENVASES | | | | | | |
| Materia prima | ZONA DE ENVASE | GET Operario_AWAIT 30FREE Operario_C | | | | | |
| botella de agua | ZONA DE SECADO | Join 1 prenda_mojada1 + prenda_oscurec | | | | | |
| Materia prima | MESAS DE SECADO | | | | | | |
| Materia prima | AREA DE PRODUCCION | | | | | | |
| Materia prima | MESAS DE SECADO | | | | | | |
| Materia prima | ALMACEN | | | | | | |

Fig. 8. Cuadro de nombramiento y dirección de procesos.

Para el proceso se ha seleccionado una forma de procesamiento, sin embargo, esto no determina o marca la dirección en la que el proceso se desarrollará, como se muestra en la Fig. 9. En la simulación se han considerado cuatro redes de rutas, cada una representada por una línea amarilla, que se describen a continuación:

| Gráfica... | Nombre | Tipo | T/V | Rutas... | Interfaces... | Mápeo... | Nodo... |
|------------|------------|-----------------------|-----|----------|---------------|----------|---------|
| Ruta_1 | Sobrepasar | Velocidad & Distancia | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Ruta_2 | Sobrepasar | Velocidad & Distancia | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Ruta_3 | Sobrepasar | Velocidad & Distancia | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Ruta_4 | Sobrepasar | Velocidad & Distancia | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 |

Fig. 9. Fijación de ruta del proceso.

La primera ruta, representada en la Fig. 10, corresponde a la relación entre la zona de etiquetado y sellado y la zona de entrega de producto terminado, incluyendo la materia prima y los insumos relacionados con el proceso.

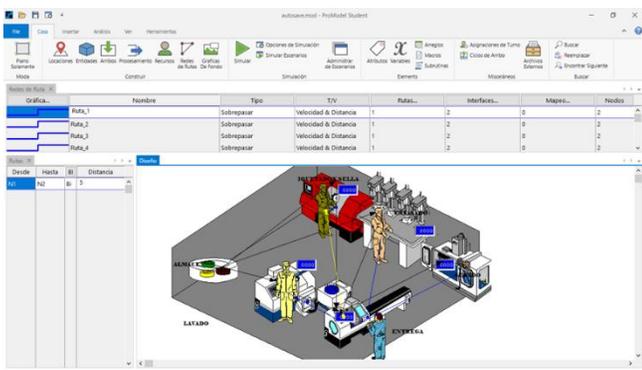


Fig. 10. 1ra ruta del proceso.

La segunda ruta, representada en la Fig. 11, corresponde a la relación entre el lavado de botellas y la entrega de producto terminado. Se establece esta relación para garantizar que el proceso sea el más eficiente y que el producto terminado esté listo para una inspección previa.

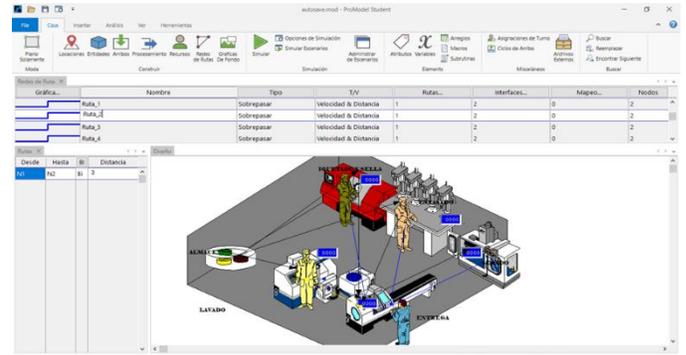


Fig. 11. 2da ruta del proceso.

La tercera ruta, representada en la Fig. 12, es la relación entre la zona de envase y la zona de entrega. La mayoría de las áreas están relacionadas con la zona de entrega para evitar errores, por lo que se ha agregado un contador en cada área para verificar la cantidad de producto terminado y el margen de error en el proceso.

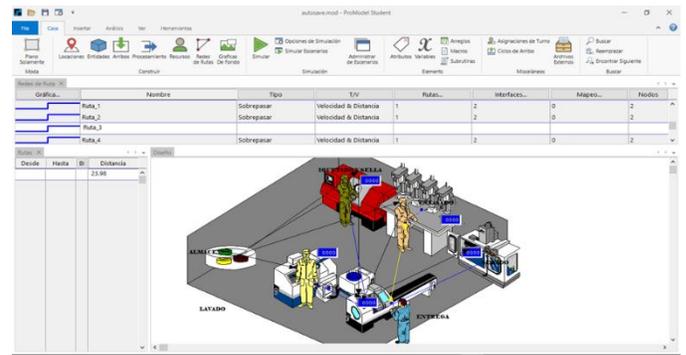


Fig. 12. 3ra ruta del proceso.

Por último, la cuarta ruta, representada en la Fig. 13, es la relación entre la zona de entrega y la zona de secado. Debido a que el proceso incluye el llenado de líquidos, es necesario que las botellas pasen por el secado para evitar paradas no programadas. Por lo tanto, es importante que el inspector esté presente en el proceso y que se realice un mantenimiento preventivo de las máquinas para prevenir su degradación prematura o cualquier falla durante el proceso.

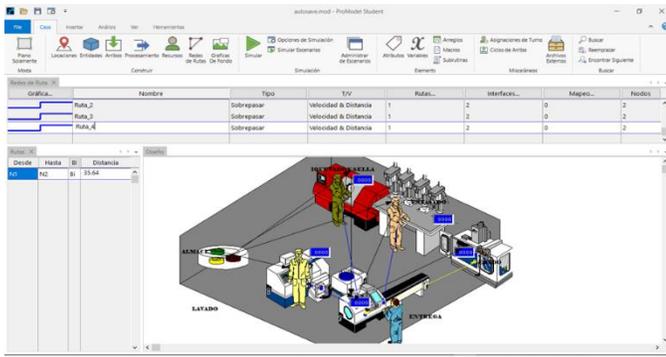


Fig. 13. 4ta ruta del proceso.

III. RESULTADOS

Según se muestra en la Tabla 1, se puede apreciar el número total de salidas de las entidades, obteniéndose 55 unidades de la prenda a secar que han pasado por el proceso de secado, 56 unidades de la prenda mojada, y 55 botellas. Las otras entidades como la disolución, pallets vacíos y llenos, botellas y tapas, tienen 0 salidas. Se puede interpretar estos resultados de la siguiente manera: las entidades con 0 salidas se deben a que ProModel contabiliza las entidades a las que se unen, formando una nueva identidad.

TABLA I
SALIDAS DE LAS ENTIDADES

| Nombre | Total Salidas | T. en sistema Promedio (Sec) | T. en operación Promedio (Sec) |
|---------------|---------------|------------------------------|--------------------------------|
| Materia prima | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bidón de agua | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Prenda seca | 55.00 | 1,008.55 | 420.00 |
| Prenda mojada | 56.00 | 4,001.33 | 300.00 |
| Botella | 55.00 | 4,474.91 | 1380.00 |
| Litro bidón | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Medio bidón | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Un bidón | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Este sistema permite a la embotelladora conocer la producción diaria, y es esencial para las empresas manufactureras tener información precisa sobre las entradas y salidas de materias primas y productos terminados.

En la Fig. 14, los resultados obtenidos en ProModel muestran que la entidad de prenda seca pasa el 6.15% de la simulación en espera y el 15.76% en operación. Es importante que la prenda seca esté en buenas condiciones para evitar problemas durante el llenado.

La entidad prenda mojada pasa el 1.86% en lógica de movimiento, el 15.76% en espera, el 7.5% en operación y el 36.44% bloqueada. La entidad botella pasa el 30.84% en lógica de movimiento, el 6.27% en espera, el 2.89% en operación y el 2.09% bloqueada. El mayor porcentaje de espera se debe a que las entidades deben esperar en las locaciones para ensamblarse con otras entidades, lo que también explica por qué ProModel no contabiliza algunas entidades.

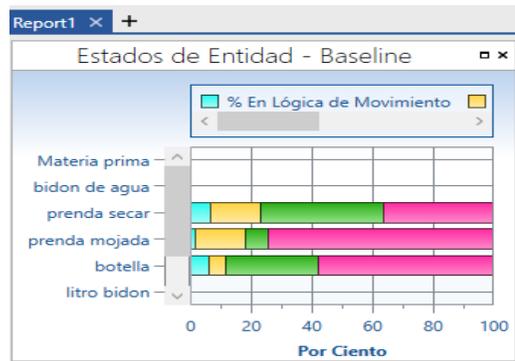


Fig. 14. Estado de entidad.

En relación a la Fig. 15, aquí se observa la eficiencia de los trabajadores, que en este caso son cuatro operarios identificados como A, B, C y D. El operario A tiene una utilización del 47,74%, un 51,33% de viaje para ser utilizado y un 0,93% de inactividad. Por su parte, el operario B presenta un 12,68% de uso, un 86,76% de viaje para ser utilizado y un 0,56% de inactividad. En cuanto al operario C, se encuentra en uso en un 65,47%, en viaje para ser utilizado en un 34,22% y en un 0,31% de inactividad. Por último, el operario D se encuentra en un 100% de inactividad. La mayoría de los porcentajes representados en la gráfica corresponden a inactividad, lo que se debe a que los operadores tienen poco tiempo disponible en sus respectivas ubicaciones.

ProModel permite conocer el desempeño de cada uno de los operadores en las diferentes áreas, lo que es importante para evaluar la calidad y eficiencia en su trabajo, ya que en la simulación se busca minimizar la intervención humana y mejorar la línea de producción.

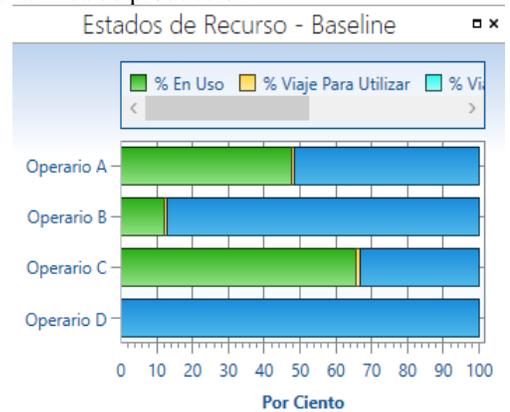


Fig. 15. Estado de recursos.

En relación a la Fig. 16, se puede apreciar que el sistema cuenta con solo 10 locaciones. Debido a esto, la primera área de producción se encuentra completamente inactiva, indicando que no hay trabajo en ese sector. La segunda área, un almacén, también se encuentra inactiva en un 100%.

En cuanto a la tercera, la capacidad de agua, está bloqueada en un 12.63%. La cuarta, las máquinas de etiquetado, están bloqueadas en un 87.74% e inactivas en un 12.26%, debido a la

espera de que la prenda esté lista para ser etiquetada. La quinta, el área de envase, está bloqueada en un 56.65% y inactiva en un 43.35%. En la sexta, el área de etiquetado y sellado, está en operación en un 46.80%, inactiva en un 7.5%, en espera en un 0.47% y bloqueada en un 45.23%. La séptima, el área de envase, está en operación en un 65.17%, inactiva en un 10.54% y en espera en un 24.29%. En la octava, el área de lavado, está en operación en un 12.12%, inactiva en un 2.5% y en espera en un 85.38%. En la novena, el área de despacho, está en operación en un 27.5%, inactiva en un 38.20% y en espera en un 34.30%. Finalmente, en la décima, la mesa de secado, se encuentra completamente inactiva.

Como resultado de esta simulación, se puede concluir que las áreas de etiquetado y sellado, envase y despacho obtienen un mayor porcentaje de operación, lo cual puede ser debido a diferentes factores que benefician a la empresa al generar una mayor eficiencia y rendimiento. En la gráfica se puede ver que predomina el tiempo de operación, ya que en las locaciones siempre se están realizando tareas de ensamble, carga y descarga, y en aquella locación que no realiza estas actividades (el reservorio de agua) aparece como inactiva.

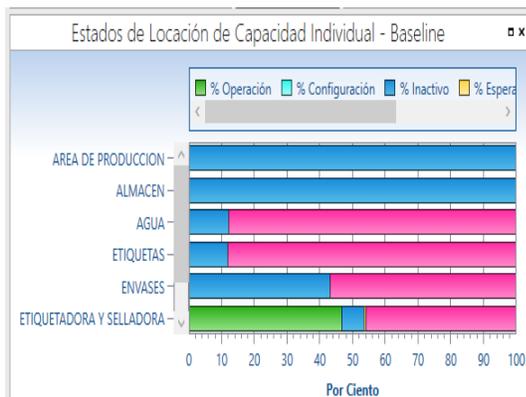


Fig. 16. Estado de locaciones de capacidad.

En la Fig. 17, se aprecia el proceso de embotellado automatizado de agua, diseñado con la herramienta ProModel. Este proceso comienza con la salida de los bidones del área de almacenamiento. Luego, los bidones pasan a la zona de lavado y sellado para ser limpiados y secados. Una vez secos, los bidones son inspeccionados en el área de etiquetado y sellado para verificar su estado. Si el agua no cumple con los estándares necesarios, es filtrada nuevamente antes de ser embotellada. Los tanques llenos de agua pasan a la zona de etiquetado y sellado para ser etiquetados con la fecha de vencimiento y sujetos a una inspección final para garantizar la calidad del producto. Finalmente, los bidones son enviados a tiendas para su venta y consumo por parte de los clientes.

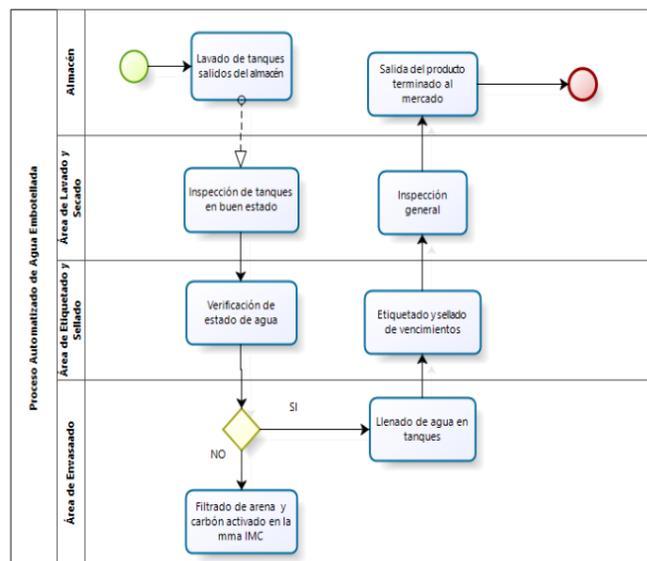


Fig. 17. Automatización del proceso de agua embotellada.

IV. CONCLUSIONES

En el presente estudio se llevó a cabo una investigación sobre la automatización de una empresa embotelladora con el objetivo de mejorar su productividad y ergonomía de los trabajadores. La metodología utilizada fue descriptiva y constó de cuatro etapas. La herramienta principal para la realización de las simulaciones fue el software ProModel, el cual se basa en la simulación de eventos discretos para evaluar, planificar, diseñar y mejorar sistemas de fabricación.

Los resultados obtenidos demuestran que la simulación es un aspecto crucial en la automatización de procesos industriales. Permite la evaluación y optimización de procesos antes de su implementación en la vida real, lo que puede resultar en un aumento en la eficiencia y reducción de costos. Además que, la automatización puede brindar múltiples ventajas, como aumentar la productividad, reducir costos, mejorar la calidad de producto, aumentar la seguridad laboral y brindar flexibilidad en la producción. Además, se basó en el registro de tiempos de embotellado en la línea de producción de desinfectantes para llegar a estas conclusiones.

La automatización es un aspecto importante en la industria y puede mejorar significativamente el funcionamiento de una empresa. Este estudio proporciona información valiosa sobre cómo la automatización puede mejorar la productividad y la ergonomía de los trabajadores en la industria de embotellamiento.

Es importante destacar que este diseño de automatización puede ser ajustado para satisfacer las necesidades de cada proceso, permitiendo un mayor aprendizaje al tener un mayor contacto con el proceso productivo.

Finalmente, para futuras investigaciones, se sugiere enfocarse en mejorar la precisión y fiabilidad de las simulaciones, así como en desarrollar métodos para integrar fácilmente la simulación en el diseño y planificación de

procesos industriales. También se recomienda explorar la aplicación de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y la realidad virtual, en la simulación de procesos industriales. Además que, para su implementación, es necesario un estudio previo del proceso de producción con el objetivo de evitar daños.

REFERENCIAS

- [1] H. Inzunza *et al.*, “Diseño De Un Sistema De Automatización E Integración SCADA Entre Un Robot Colaborativo (Cobot UR) Y La Plataforma HT-PLC.,” *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, Aug. 2021, doi: 10.18687/LACCEI2021.1.1.49.
- [2] Vilaboa B. José, “GESTIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PLANTAS INDUSTRIALES EN CHILE,” Nov. 2003, pp. 1–8. doi: S0718-07642019000500221.
- [3] C. Rincón Godoy, J. Martínez Baquero, and A. Rodríguez Umaña, “Diseño Sistema PID Para El Control De Distancia De Un Vehículo Seguidor De Objetos,” *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, no. 1, Aug. 2021, doi: 10.18687/LACCEI2021.1.1.277.
- [4] Pérez López Esteban, “Propuesta de automatización en bodega de productoterminado en industria manufacturera de productos de higiene personal en Costa Rica,” Apr. 2015. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-24582015000200040&lang=es (accessed Apr. 10, 2021).
- [5] A. A. “Evaluación de alternativas de distribución de planta por medio de simulación,” *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 15, no. 1, pp. 44–59, 2002.
- [6] I. S. Marmolejo and J. M. Marín, “ProModel: Una Herramienta Alternativa al Evaluar el Rendimiento de la Actividad Industrial,” *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, vol. 5, no. 10, pp. 232–250, Dec. 2013, doi: 10.13084/2175-8018.v05n10a17.
- [7] C. Camargo B, L. Duran B, and N. F. Rosas, “Plataforma hardware/software abierta para aplicaciones en procesos de automatización industrial - Dialnet,” 2013.
- [8] D. Calderon, K. Sebastián, S. Ulloa, and T. Geldres-Marchena, “Design of engineering tools for cost reduction in the footwear company Rambil E.I.R.L.,” *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, no. 1, Aug. 2022, doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.321.
- [9] A. Chávez, E. Tiellasuca, J. LastNameLastNameFerré, K. Plasencia, K. Guillen, and T. Geldres-Marchena, “Implementation of an improvement plan to reduce the operating costs of a manufacturing company,” *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, no. 1, Aug. 2022, doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.328.
- [10] W. Septiani, G. A. Divia, and S. Adisuwiryo, “Warehouse Layout Designing of Cable Manufacturing Company using Dedicated Storage and Simulation Promodel,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 847, p. 012054, May 2020, doi: 10.1088/1757-899X/847/1/012054.
- [11] I. S. Marmolejo and J. M. Marín, “ProModel: Una Herramienta Alternativa al Evaluar el Rendimiento de la Actividad Industrial,” *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, vol. 5, no. 10, pp. 232–250, Dec. 2013, doi: 10.13084/2175-8018.v05n10a17.
- [12] Á. Mejía-Neira, D. Jabba, G. C. Caballero, and J. Caicedo-Ortiz, “Influencia de la Ingeniería de Software en los Procesos de Automatización Industrial,” *Información tecnológica*, vol. 30, no. 5, pp. 221–230, Oct. 2019, doi: 10.4067/S0718-07642019000500221.
- [13] W. Septiani, G. A. Divia, and S. Adisuwiryo, “Warehouse Layout Designing of Cable Manufacturing Company using Dedicated Storage and Simulation Promodel,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, May 2020, vol. 847, no. 1, p. 012054. doi: 10.1088/1757-899X/847/1/012054.
- [14] V. Y. Despachos En, U. Empresa, P. Diana, and M. Romero Escovar, “PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE,” 2009.
- [15] Córdoba Nieto Ernesto, “Manufactura y automatización,” Bogotá, Sep. 2006.
- [16] J. Velásquez Costa and J. Gonzales Prado, “Prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas de plástico,” *Industrial Data*, vol. 20, no. 1, p. 125, Jul. 2017, doi: 10.15381/idata.v20i1.13505.
- [17] Giovanni De Simone Maimone, “Capítulo 5 Sampieri - Metodología de la Investigación.”
- [18] P. Manantial San Sebastián, P. EL Obtener Título De, D. DE Tesis, M. C. Orquídea Sánchez López, and M. C. Ignacio Hernández Castillo, “UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA “MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL ÁREA DE ENVASADO DE LA MIGUEL ANGEL TORRALBA GONZÁLEZ,” Huajuapán de León, 2017.