INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR DE HUATUSCO

TESIS

EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LLENADO DE GARRAFONES DE UNA PURIFICADORA DE AGUA, MEDIANTE LA SIMULACIÓN CON SOFTWARE SIMIO®

PARA OBTENER EL TITULO DE:

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. LUZ DEL CARMEN RIVERA SÁNCHEZ

DIRECTOR DE TRABAJO RECEPCIONAL

M.I. MIGUEL ÁNGEL SOLÍS JIMÉNEZ

CO - DIRECTOR DE TRABAJO RECEPCIONAL

M.I. MARTIN GONZÁLEZ SOBAL

HUATUSCO, VER. **JUNIO 2024.**

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a **DIOS**. Señor te agradezco profundamente por permitirme la vida, así como el estudio de la maestría.

A mi **esposo** por apoyarme económicamente para poder estudiar, por escucharme en mis momentos de estrés, por alentarme a seguir y a superarme, en cada ocasión que pensé en rendirme, Gracias también por siempre creer en mí.

A mis **padres** por ayudarme con el cuidado de mis hijos, por creer en mí y por qué siempre estuvieron apoyándome moralmente para no rendirme y seguir; a mis amados **hijos** por comprender los días de ausencia, por entender que mama debía hacer tarea y por el amor incondicional que siempre me dan y sentirse orgullosos de mí.

A mis **hermanas** y **abuela** por su apoyo moral y por cuidar de mis hijos ocasionalmente para que yo pudiera asistir a clases.

A mi **ángel** que está en el cielo, porque en todo momento se sintió orgulloso de mí, porque siempre comentaba que su hermanita era ingeniero y se, que, si estuvieras aquí, te sentirías muy feliz por un logro más en mi vida.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco y reconozco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por el apoyo en concepto de recibir la beca de maestría.

Agradezco al ingeniero **Gabriela Gómez Tlazalo** y al **Ingeniero José Guadarrama Sánchez** por permitirme llevar a cabo la presente tesis en su purificadora de agua.

Por su constante dedicación, profesionalismo, enseñanza y orientación, agradezco profundamente a el M.I. **Miguel Ángel Solís Jiménez**, quien fue mi director de trabajo recepcional.

Por su profesionalismo, enseñanza, orientación, así como su apoyo, empatía y paciencia, agradezco profundamente al M.I. **Martin González Sobal**, Dra. **Ana Laura piña**, al Dr. **Adán Cabal Prieto**, y al Ingeniero **Alejandro Rosas Ramón**;

Por su orientación y apoyo agradezco al personal administrativo del departamento de Maestría en Ingeniería.

Agradezco a cada uno de mis compañeros estudiantes de maestría, por el apoyo brindado durante la estancia en esta casa de estudios **Instituto Tecnológico Superior de Huatusco.**

RESUMEN

El presente estudio se desarrolla con la finalidad de analizar y evaluar el proceso de llenado de garrafones de la empresa Puritronic San Román, médiate la simulación con software SIMIO®. La importancia de llevar a cabo la mejora y simulación del proceso de limpieza y llenado de garrafones radica en mejorar los tiempos de lavado y por consecuencia llenado de los garrafones y atención al cliente, así mismo el surtimiento a la unidad de reparto; básicamente, se busca confirmar la hipótesis de que a partir del desarrollo de un modelo de simulación es posible evaluar diversos escenarios que mejoren el operar actual de la empresa. De manera que el objetivo del proyecto es la obtención de un modelo de simulación que evalué el proceso actual de operación de la empresa Puritronic San Román, para posteriormente generar escenarios para reducir los tiempos de operación, mediante el uso de software SIMIO®.

Para lograr lo antes expuesto se desarrolla la metodología de simulación que consiste básicamente en tres fases: información del sistema a modelar, diseño de un modelo de simulación que represente fielmente la realidad del sistema y el análisis de posibles escenarios que impacten directamente en los indicadores de productividad de la empresa. Hablando de los escenarios, el primer escenario plantea la posible expansión del negocio, es decir crear nuevas rutas y cliente, por lo que la pregunta sería: ¿Se cuenta con la capacidad para abastecer a más clientes, considerando la capacidad productiva y la cantidad de agua para la realización de la limpieza y llenado de los garrafones? El segundo escenario plantea una reingeniería en el proceso de limpieza de garrafones y por último, el tercer escenario plantea la colocación de dos llaves más para el llenado de garrafones.

La simulación de la operación del proceso, beneficia en la toma de decisiones, ya que se permite interactuar con una versión realista la situación actual del área de trabajo; sin necesidad de hacer cambios físicos innecesarios, que afecten el proceso operativo de la empresa, o que requieran inversiones por adelantado. De acuerdo al modelo simulado se puede decir que, el tiempo de espera para el garrafón que llega a ventanilla, se redujo considerablemente en promedio de 12 minutos a 5.68 minutos ± 46 segundo, lo que impacta directamente en la satisfacción de los clientes y mayor productividad.

ABSTRACT

The present study is developed with the aim of analyzing and evaluating the bottle filling process of the company Puritronic San Román through simulation with SIMIO® software. The importance of improving and simulating the bottle cleaning and filling process lies in enhancing washing times and consequently the filling of bottles and customer service, as well as the supply to the distribution unit. Essentially, the study seeks to confirm the hypothesis that by developing a simulation model, it is possible to evaluate various scenarios that improve the current operation of the company. Thus, the objective of the project is to obtain a simulation model that evaluates the current operation process of Puritronic San Román, to subsequently generate scenarios to reduce operation times using SIMIO® software.

To achieve this, the simulation methodology is developed, consisting essentially of three phases: information about the system to be modeled, designing a simulation model that accurately represents the reality of the system, and analyzing possible scenarios that directly impact the company's productivity indicators. Regarding the scenarios, the first scenario considers the potential expansion of the business, i.e., creating new routes and clients, posing the question: Is there the capacity to supply more clients, considering the productive capacity and the amount of water for cleaning and filling the bottles? The second scenario proposes a reengineering of the bottle cleaning process, and finally, the third scenario suggests the installation of two additional taps for bottle filling.

Simulating the operation process aids decision-making, as it allows interaction with a realistic version of the current work area situation without making unnecessary physical changes that could affect the company's operational process or require upfront investments. According to the simulated model, the waiting time for a bottle arriving at the counter was significantly reduced on average from 12 minutes to 5.68 minutes ± 46 seconds, directly impacting customer satisfaction and increased productivity.

Contenido

INTRODUCCIÓN vii

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA xi

JUSTIFICACIÓN xii

HIPÓTESIS xiii

OBJETIVOS xiv

OBJETIVO GENERAL xiv

OBJETIVOS ESPECÍFICOS xiv

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES 1

1.1 Simulación 1

1.2 Antecedentes de la empresa 4

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE 8

2.1 Método de simulación de eventos discretos para modelar el procesamiento de pasajeros en un aeropuerto internacional 8

2.2 Optimización de la línea de ensamblaje utilizando el estándar de tiempo MTM y el modelado de simulación: un estudio de caso 8

2.3 Una herramienta basada en simulación para apoyar la toma de decisiones en el diseño logístico de una línea de envasado de latas 9

2.4 Layout and material flow optimization in digital factory 10

2.5 Gestión de la cadena de suministro: un enfoque novedoso para la mitigación de riesgos para múltiples componentes de incorporación y eliminación gradual 10

2.6 Mejora del proceso de producción de una panadería: un enfoque de simulación 11

2.7 Realización de diseño experimental y optimización de un negocio innovador de alquiler de vehículos. 12

2.8 Modelo de Simulación del Efecto del Protocolo de Bioseguridad COVID-19 en las Colas para el Regreso a Clases Presenciales 12

2.9 Modelado de procesos de asistencia en tierra en el software SIMIO 13
2.10 Un marco de modelado de sistemas de manipulación de materiales: un enfoque basado en datos para la generación de modelos de simulación de eventos discretos 14
2.11 Aporte de investigación 15
CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA 17
3.1 METODOLOGÍA 17
3.2 Información 19
3.2.1 Planteamiento del problema 19
3.2.2 Recolección de datos 20
3.2.3 Descripción de los procesos. 21
3.3 Diseño 33
3.3.1 Verificación 42
3.3.2 Validación 45
3.3.3 Prueba t-apareada 47
3.4 Análisis 52
3.4.1 Corridas del programa 52
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 57
4.1 Primer Modelo Propuesta 58
4.2 Segundo Modelo Propuesta 61
4.3 Tercer Modelo Propuesta 65
5. CONCLUSIONES 67
REFERENCIAS 69
ANEXOS 72
Anexo 1. Validación del modelo 72
Anexo 2. Determinación del número de corridas 75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Geográfica de la empresa Puritronic San Román (Google Maps,2023).....5
Figura 2 Distribución de instalaciones de Puritronic San Román.....6
Figura 3 Diagrama de flujo de proceso de actividades de Puritronic San Román 7
Figura 4 Proceso para una simulación con el uso del software SIMIO®.....18
Figura 5 Mapa conceptual del proceso de operación de Puritroinc San Román. 21
Figura 6 Diagrama de flujo de proceso de purificación de agua de Puritronic San Román.....25
Figura 7 Pantalla principal del Software Stat:Fit®. 30
Figura 8 Prueba de bondad de ajuste de distribución de lavado Interno 31
Figura 9 Prueba de bondad de ajuste de distribución de lavado externo.....32
Figura 10 Prueba de bondad de ajuste de distribución de enjuague externo.....32
Figura 11 Descripción de la interfaz de SIMIO 33
Figura 12 Modelado de la situación actual de la purificadora Puritronic San Román 40
Figura 13 Animación uno de modelo de simulación de la purificadora de agua puritronic San Román.....41
Figura 14 Tiempo promedio de espera en el modelo de simulación de Puritronic San Román 42
Figura 15 Consumo de agua para limpieza en el modelo de simulación de Puritronic San Román 43
Figura 16 Agua almacenada en el modelo de Puritronic San Román 44
Figura 17 Diagrama de flujo de pasos para validar un modelo de simulación de Puritronic San Román.....45
Figura 18 Comparativo de datos reales y simulados de Puritronic San Román.....51
Figura 19 Numero de corridas en el modelo de simulación de Puritronic San Román.....55
Figura 20 Modelo propuesta de simulación 1 nueva ruta para Puritronic San Román 59
Figura 21 Agua disponible en tanque 1 de Puritronic San Román.....60
Figura 22 Agua disponible en tanque 2 de Puritronic San Román.....61
Figura 23 Modelo 2 reingeniería de proceso de limpieza interna de garrafones de Puritrnic San Román.....62
Figura 24 Lavado interno modificado en Puritronic San Román.....63

Figura 25 Tiempo de limpieza de 8 garrafones 64
Figura 26 Modelo propuesta 3 agregar llaves para llenado de garrafones en Puritronic San Román.....65
Figura 27 Reducción de tiempo en Llenado.....66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Aporte de investigación 15
Tabla 2 Solicitud de garrafones de ventanilla en Puritronic San Román 27
Tabla 3 Surtimiento de garrafones a unidad de reparto 28
Tabla 4 Toma de tiempo de lavado interno de Puritronic San Román 29
Tabla 5 Tipos de objetos en SIMIO® 34
Tabla 6 Librería de objetos estándar de SIMIO® 36
Tabla 7 Librería de objetos de flujo de SIMIO® 38
Tabla 8 Promedio de muestras de lavado interno 46
Tabla 9 Prueba t-pareada de lavado interno del modelo de simulación de Puritronic San Román 50
Tabla 10 Validación de las todas las variables del modelo de simulación de Puritronic San Román 51
Tabla 11 Numero de corridas de lavado interno de simulación de Puritronic San Román 54

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la CEPAL el desarrollo industrial continúa siendo un centro de innovación tecnológica, dinamismo en el comercio internacional y crecimiento económico. Los países enfrentan dificultades importantes para avanzar en su desarrollo industrial, en particular por la débil implementación de políticas de cambio estructural que impulsen sectores modernos y de alta productividad (CEPAL, 2023).

Para que la empresa adquiera una estructura organizacional, de procesos, procedimientos y control de actividades diarias, son necesarias herramientas que ayuden a lograr objetivos y requerimientos de la misma empresa, dependiendo el giro o la actividad que se lleve a cabo.

Dentro de las herramientas que son de gran ayuda y consideradas para el desarrollo y crecimiento de la organización se encuentra la simulación de procesos; Se comprende que simular es reproducir el comportamiento de un sistema real mediante un modelo que funciona de manera similar.

La simulación de un proceso permite brindar propuestas de soluciones que ayuden al mejoramiento de la productividad; A través de un modelo o replica virtual, se permite representar una situación de un proceso, para conocer el comportamiento, si ocurre algún cambio en la variable o variables.

La simulación nos permitirá avanzar, analizando diferentes campos, ya que nos permite recrear alguna parte del mundo físico, a su vez nos permite explorar alguna situación, sin las restricciones del mundo real, un ejemplo de ello seria, simular el comportamiento de un proceso, sin que haya perdida de producto real.

En la actualidad, la realidad virtual pertenece a esta nueva era tecnológica conocida como la cuarta revolución industrial, donde participa con un papel importante, en campos como la arquitectura, la medicina, ingeniería, educación, la psicología, entre otras; ya que permite simular la realidad en un entorno virtual, donde el usuario logra experimentar sensaciones y realizar actividades sin necesidad de involucrarse física y presencialmente en la situación real. Con la tecnología de realidad virtual una persona puede enfrentar situaciones variables y

mundos complejos por medio de las simulaciones realizadas por computadora e incorporadas a un sistema de realidad virtual, que da la posibilidad de tener múltiples sesiones de práctica y ampliar la gama de situaciones a las que se enfrenta; asimismo, proporciona información sobre el rendimiento del usuario, lo que permite, controlar y registrar electrónicamente (Valencia et al., 2016).

Dentro de los diversos softwares que permiten realizar simulación, está el software SIMIO®; se puede decir que dicho software representa una manera moderna y amigable de simular o replicar una realidad virtual, por lo que se vuelve accesible a un mayor público, para su uso, como lo son aviación, producción, servicios, por mencionar algunos, ya que uso ha sido en varios rubros (SIMIO, 2024).

La simulación como instrumento es útil cuando se necesita imitar o duplicar la operación de un proceso o sistema real en el tiempo, ya que con ella se genera un histórico artificial del sistema, así mismo se estudia ese histórico para mejorar el futuro real.

Cabe mencionar que no en todos los casos se puede utilizar la simulación con software SIMIO®, esto se debe a la naturalidad del proceso, así como a las desventajas ya que la construcción de modelos requiere de cierto entrenamiento, los recursos de la simulación pueden ser difíciles de interpretar, los modelos de simulación y su análisis pueden ser lentos, la simulación proporciona información, no soluciones ni respuestas específicas (Jeffrey Allen Joines et al., 2010).

El presente trabajo muestra como principal herramienta el uso del software SIMIO®, que la aplicación y el uso sea como guía para futuros modelos de simulación de modelos continuos con eventos discretos, dentro del mismo también es necesario definir el software SIMIO®, su interfaz, en este se enlistaran los objetos de su biblioteca de flujos describiéndolos, todo esto con la finalidad de plantear bases para el entendimiento del modelo elaborado en este trabajo.

El presente trabajo pretende llevar a cabo la evaluación y mejora del proceso de llenado de garrafones de una purificadora de agua, mediante la simulación con el uso del software SIMIO®, esto se debe a que el proceso de limpieza y llenado de garrafones es muy tardío, lo que entorpece el servicio al cliente en ventanilla y retrasa los tiempos de la unidad de reparto; por lo que es necesario propuestas que ayuden a la mejora de los procesos.

Con la finalidad de mejorar tiempos de atención al cliente y por consecuencia, obtener la satisfacción de los mismos, así mismo en la proyección de expansión del negocio y crecimiento en ventas, para lograr abastecer el surtimiento de los garrafones en tiempo y forma, tomando en consideración que la industria solicita pedidos de 40 unidades. Por lo que se debe tener en cuenta los tiempos del proceso, actividades, así como la cantidad de agua disponible para el proceso.

En el capítulo uno se plantea la problemática que se estará abordado, así como la justificación de la misma, de igual manera se describe la hipótesis, el objetivo genera, así como los específicos y en general el contexto del trabajo.

En el capítulo dos se describe el estado de arte, en donde muestra los antecedentes de la simulación, se menciona lo que hasta el día de hoy existe con referencia hacia uso de la modelación con el software SIMIO®. Se realizo una revisión de literatura de artículos científicos, en google, scholar, mendeley, latindex, por mencionar algunos; sobre estudios realizados de modelación en distintos ámbitos como por ejemplo la industria, aviación y el caso de contingencia por COVID-19. Cabe mencionar que existe demasiada información sobre modelación con SIMIO®, esto se debe a que es un software amigable y moderno, con acceso al público ya que permite ser usado, sin escribir códigos.

En el capítulo tres se describe paso a paso la realización de la metodología para modelar con SIMIO®, dicha metodología se divide en tres fases, las cuales son información (etapa donde se recaba información del proceso a modelar, es decir, sus restricciones, funcionamiento y particularidades, así como el tipo de datos que utiliza y que a su vez genera), diseño (etapa en la cual se crea el modelo de simulación que básicamente es el gemelo virtual del sistema de operación real que se está estudiando, con el grado de detalle necesario para responder al planteamiento de la información, durante el desarrollando del modelo, la información que ingresa se verifica y válida para asegurar el funcionamiento y representación del sistema real,) y análisis (es la etapa donde a través del modelo de simulación o gemelo virtual se puede generar información para la toma de decisiones así como alternativas de funcionamiento del sistema).

En el capítulo cuatro resultados y discusiones, se describe los resultados obtenidos y se realiza un análisis para determinar el logro del objetivo de crear un modelo de simulación que permita

evaluar el proceso actual de operación de la empresa Puritronic San Román y así generar escenarios para reducir los tiempos de operación, mediante el uso de software SIMIO®.

Seguido el capítulo cinco, el cual describe las conclusiones, así como el alcance que tuvo el presente trabajo, por consecuencia sus limitaciones, las recomendaciones sobre el modelado de la presente tesis, de igual manera dichas recomendaciones pueden servir para futuras investigaciones relacionadas con la simulación con software SIMIO®.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La desaceleración económica por la que ha pasado el país en los últimos años, en gran medida debido a la pandemia, ha ocasionado que muchas personas, en su afán de tener un ingreso económico mayor establezcan nuevas micro empresas en todos los ámbitos. Estas micro empresas en la mayoría de las ocasiones tienen periodos de vida cortos; de acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la esperanza de subsistencia promedio de una nueva empresa en México es de 7.8 años en el 2020 (Secretaría de economía, 2018).

Esto debido entre cosas a que la mayoría de los pequeños y microempresarios no cuentan con las herramientas administrativas ni técnicas que les permitan su permanencia en el mercado, además de la cantidad de competencia a su alrededor.

Un claro ejemplo de ello es las pequeñas empresas de purificación de agua, las cuales tienen diferentes problemáticas, tales como la franquicia de purificadora de agua, llamada Puritonic San Román, que se encuentra ubicada en Calle Santa Cecilia # 54 U.H San Román Córdoba Ver. Dicha empresa se encuentra con deficiencias en el nivel de producción diario, esto se debe al llenado de garrafones, ya que el proceso es lento y retrasa el surtimiento en ventanilla, así como en la unidad de reparto, lo que por consecuencia genera pérdidas en ventas y clientes.

Si la empresa aspira a un crecimiento en ventas, como lograría abastecer el incremento de pedidos, si en la actualidad el proceso es muy tardado, aunado a ello considerar si el agua que es la principal materia prima, sería suficiente para el abastecimiento y la satisfacción de los nuevos clientes.

Por lo antes mencionado, la presente tesis, pretende llevar a cabo un análisis del estado actual del proceso, para posteriormente evaluar, medir tiempos y mejorar el proceso de llenado de garrafones, mediante simulación con software simio en la purificadora de agua Puritonic San Román.

JUSTIFICACIÓN

Las pequeñas empresas en el afán de subsistir ante la competencia, se ven en la necesidad de buscar diferentes alternativas, las cuales ayuden a la misma, a ser más competitiva en el mercado y a su vez más atractiva para sus clientes; es por ello que el tiempo de atención al cliente es de gran importancia para lograr así, la lealtad del consumidor

Lamentablemente las pequeñas empresas al no contar con herramientas adecuadas para coordinar la operación, se genera descontrol de proceso, ejemplo de ello, retraso en los tiempos de entrega, lo que produce clientes insatisfechos y perdida de los mismos. Lo ideal sería que utilicen metodologías y herramientas que les permitan evaluar y mejorar sus los procesos operativos y por ende el servicio al cliente, una de las herramientas recomendadas es optimización basadas en modelos de simulación que facilitan sus actividades para lograr sus objetivos.

La importancia de llevar a cabo la simulación así como el mejoramiento del proceso de limpieza y llenado de garrafones, radica en mejorar los tiempos de lavado, al mejorar dicho proceso, por consecuencia se beneficiaría llenado de garrafón y atención al cliente, así mismo, el surtimiento a la unidad de reparto; como un efecto de acción-consecuencia; todo esto mediante análisis y recolección de datos, estudio de las etapas del proceso y metodología de la misma, todo esto con el uso de la técnica de simulación, para poder brindar alternativas que permitan el control y mejoramiento del proceso de limpieza y llenado de garrafones.

HIPÓTESIS

El uso de un modelo simulación del proceso de limpieza y llenado de garrafones de la empresa Puritronic San Román permitirá evaluar el funcionamiento actual del sistema y analizar diversos escenarios para mejorar el proceso actual, así como para evaluar la expansión a nuevos mercados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Crear un modelo de simulación que evalué el proceso de limpieza y llenado de garrafones actual de operación de la empresa Puritronic San Román y así generar escenarios para reducir los tiempos de operación, mediante el uso de software SIMIO®.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el estado actual del proceso para definir indicadores de productividad de la empresa e identificar variables aleatorias, así como parámetros del proceso actual.
- Elaborar un modelo conceptual del proceso de operación de la planta purificadora, estableciendo planes de muestreo de las variables aleatorias identificadas, así como identificando parámetros de operación de los diferentes procesos.
- Elaborar un modelo de simulación con software SIMIO® que represente la situación actual, mismo que se verificará su funcionamiento y validará estadísticamente para medir indicadores y contrastarlos contra los resultados del modelo.
- Evaluar y diseñar escenarios que mejoren los indicadores de operación propuestos, así como documentar y presentar propuesta de implementación de los escenarios analizados.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Simulación

Para lograr llevar cabo algún estudio o proyecto de cualquier tipo, es importante conocer y entender los conceptos básicos que comprenden dicho tema.

> *De acuerdo Thomas H Naylor 2016 "Simulación es una técnica numérica, para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo. "*
>
> *Thomas H. Naylor 2016.*

> *En contraste de H. Maisel y G. Gnugnoli 2016 "Simulación es una técnica numérica, para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos químicos a través de largos periodos de tiempo."*
>
> *H. Maisel y G. Gnugnoli 2016.*

> *En comparación con Robert E. Shannon "Simulación es un proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema. "*
>
> *Robert E. Shannon 2016.*

Las definiciones antes descritas no especifican si los sistemas modelados son continuos o discretos. Sin embargo, es preciso señalar que este libro está dedicado al diseño, análisis y validación de sistemas dinámicos discretos (Raúl Coss Bu, 2016).

De acuerdo con la literatura existen diferentes términos para la simulación, las cuales se basan en conceptos, según el grado de realismo de los modelos como se menciona en 1.1Simulación.

En la actualidad, la investigación de operaciones utilizada como herramienta es útil en las técnicas de diseño, realización y control de sistemas logísticos; sin embargo, una de las herramientas más útiles es la simulación, ya que es un método factible para el estudio y solución de problemas. En el año 1940 surge como referencia en el tema de simulación, cuando el científico Ullman diseño y aplicó el método llamado "**simulación Montecarlo**". Posteriormente la simulación dio inicio a una etapa de auge, atreves de la aplicación en técnicas de la industria aeroespacial, de comunicaciones, por mencionar algunas, hoy en día se utiliza en diferentes áreas del sector empresarial y militar, como lo es, la producción, la logística, y recientemente en diversas actividades militares en el mundo, por ejemplo, operaciones logísticas en la guerra de Irak y Afganistán (Sánchez Caimán, 2007).

Un aspecto hipotético importante es enlazar los procesos de simulación con medianas, pequeñas y grandes empresas, dado que, para lograr alcanzar los estándares competitivos y ventajas innovadoras, se demanda la integración de herramientas con mayor impacto en la técnica de toma de decisiones y justamente la simulación de métodos productivos, que se entiende como un conjunto de métodos, técnicas y aplicaciones que pretende simular sistemas reales con la ayuda de computadoras y software especialistas para el modelaje de un sistema una organización (Cepeda Rosas et al., 2020).

En los sistemas del mundo real algunos son tan complejos que difícilmente pueden ser resueltos mediante ecuaciones. La simulación tiene la capacidad de analizar este tipo de sistemas complicados y se utiliza como una herramienta de estudio para predecir el resultado de los cambios al implementarse sobre un sistema existente, un instrumento de diseño que permite predecir el rendimiento de un nuevo sistema; la simulación como herramienta o instrumento es útil cuando se requiere imitar la operativa de un proceso o sistema real en el tiempo, debido a

que con ella, se crea un histórico artificial del sistema, se analiza ese histórico para la mejora del futuro real, además de ser una de las bases para la entrada e implementación a la industria.

Con la utilización del software SIMIO® se cuenta con algunas ventajas en la simulación, tales como: predecir rendimientos con precisión, minimiza e incluso elimina riesgos e incertidumbres, puede descubrir valores ocultos, disminuye despilfarros, valida procesos de mejora (Lean Manufacturing, 6δ), examina alternativas sin interferir con el funcionamiento del sistema real, ayuda a la toma de decisiones en inversión (p. ej., nueva maquinaria). Cabe mencionar que dentro de las principales desventajas para la utilización del software SIMIO® destaca el hecho de que la construcción de modelos requiere de cierto entrenamiento, los recursos de la simulación pueden ser difíciles de interpretar y principalmente los modelos de simulación y su análisis pueden ser lentos y de alto costo.

1.2 Antecedentes de la empresa

Puritronic es una empresa mexicana con experiencia en sistemas de purificación, tratamiento y envasado de agua, además de ofrecer sus productos de purificación, también proporciona a sus clientes la licencia de uso de marca, y cuenta con grandes estándares de calidad.

El presente estudio de investigación, se realizará en establecimiento denominado ¨Puritronic San Román¨; La cual fue fundada en agosto de 2012 por la Ingeniero en industrias alimentarias, Gabriela Gómez Tlazalo.

La infraestructura de la empresa cuenta con 72 metros cuadrados, los cuales se encuentran distribuidos en: área de recepción, área de tanques y proceso de purificación de agua, ventanilla de atención, limpieza, sellado, y envasado de garrafones, oficina y estacionamiento de unidades de reparto.

Las presentaciones ofertadas son: garrafón de 20 l, botella de 1 l, botella de 1.5 l y botella de 500 ml. Gracias a su arduo trabajo, ha logrado obtener una cartera de clientes de empresas reconocidas en la zona Córdoba – Orizaba, tales como: Ingenio san José de abajo, Prover, Chevronepi, Grupo torno industrial, Kia Motors, CMC asfalto, Schettino, Carso y ojai, además de aquellos clientes a los que se le entrega el producto en la puerta de sus casa. La empresa cuenta con 3 trabajadores, uno en ventanilla, uno en limpieza y uno más que se encarga del reparto del producto a domicilio.

El proceso de purificación de esta empresa da cumplimiento principalmente a la NORMA Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015, (Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias); además de dar cumplimento a otras normas de la SSA y de la secretaria de trabajo y previsión social (STPS).

La empresa se encuentra ubicada en Domicilio: Calle Santa Cecilia 54 San Román Córdoba Veracruz 94575.

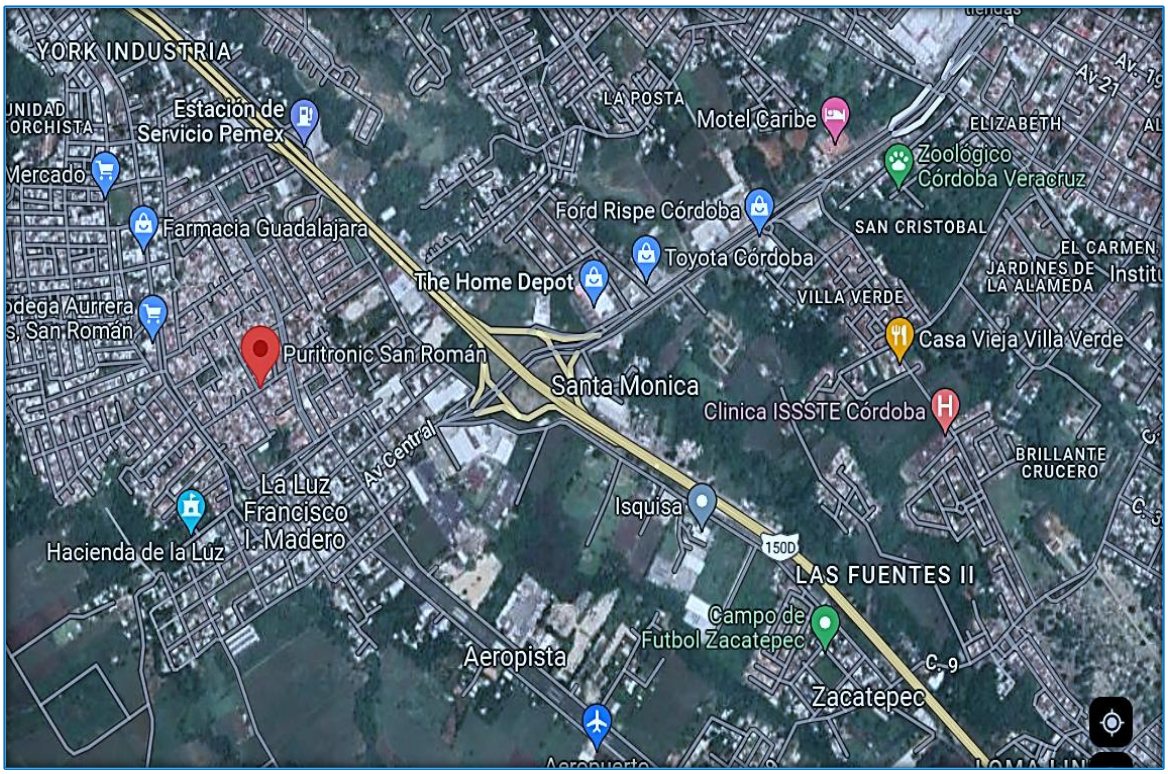


Figura 1 Ubicación Geográfica de la empresa Puritronic San Román (Google Maps,2023)

La ubicación de la empresa facilita repartir el producto a los clientes, no solamente locales sino también a la industria, los accesos de salida y entrada facilita los tiempos de entrega, lo que beneficia y genera atracción de nuevos consumidores, es importante considerar que la ubicación está ligada al segmento de mercado al que está dirigido este negocio.

La empresa se encuentra a mitad de camino de sus dos clientes más potenciales, los cuales se encuentran ubicados en la ciudad de Orizaba y Córdoba Veracruz, generando así, facilidad y disponibilidad para el reparto del producto, es decir en caso de que surge algún pedido no previsto, las vías de acceso está cerca para poder abastecer del producto, casi de forma inmediata.

La distribución de la empresa se encuentra se muestra en el siguiente layout.

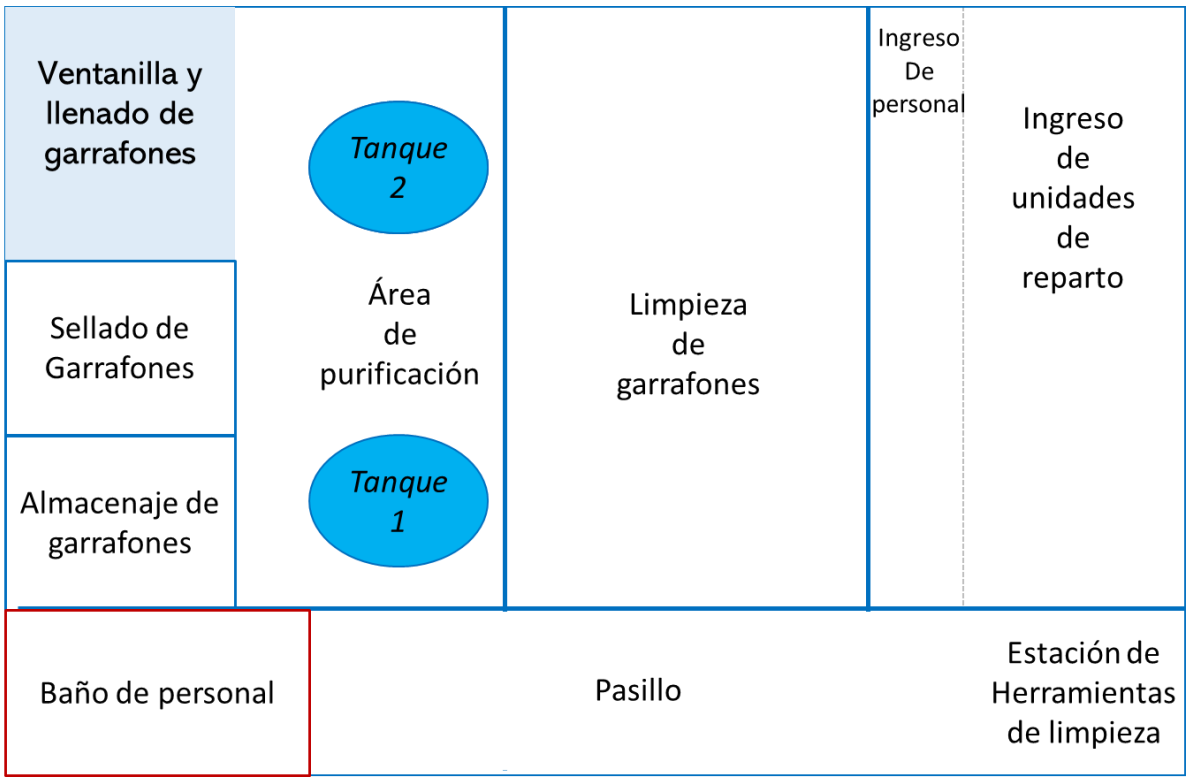


Figura 2 Distribución de instalaciones de Puritronic San Román

La empresa cuenta con un total de 30 metros cuadrados, y están distribuidos de la siguiente manera. Frente a calle se encuentra el llenado de garrafones, con la finalidad de brindar un mejor servicio y que el cliente pueda observar la higiene aplicada en el surtimiento del producto, a un costado se encuentra el sellado de garrafones un área muy pequeña pegada a la ventanilla, posteriormente sigue el área del almacén, donde se encuentra unos estantes para el almacenamiento de garrafones ya sellados. Detrás del llenado de garrafones se encuentra el proceso de purificación de agua, en un cuarto separado por una pared junto al área mencionada se encuentra la limpieza de garrafones, seguido de esta área, de igual manera separada por una pared está el área de carga y descarga de unidades de reparto. De frente a cada uno de los cuartos mencionados se encuentra un pasillo, en el cual de manera separada por una pared se encuentra el baño para uso del personal, seguido del pasillo y al finalizar, frente a la carga y descarga de unidades se encuentra la cisterna y el área de resguardo de material de limpieza.

A continuación, se muestra un diagrama del proceso de actividades que se realizan en la empresa, la cual ayuda a visualizar el flujo que sigue el proceso y las actividades para lograr la obtención de garrafones en condiciones óptimas para la contención de agua purificada.

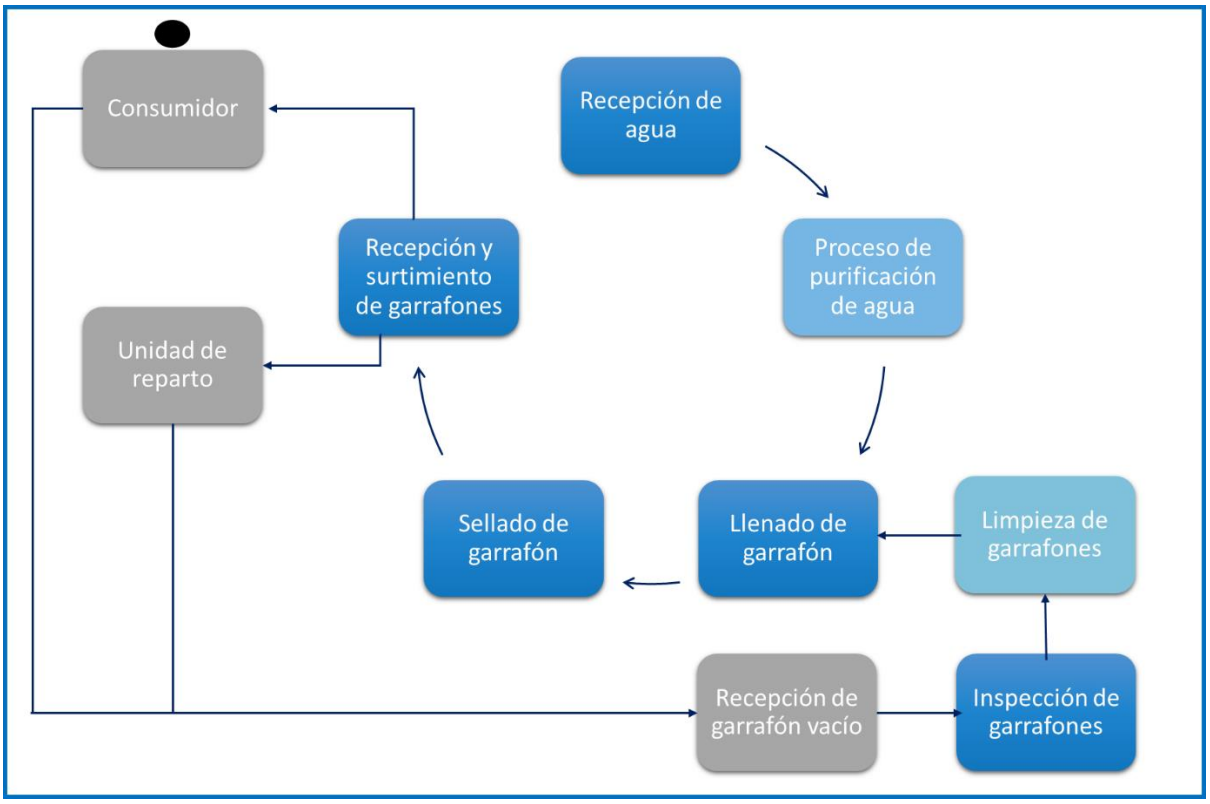


Figura 3 Diagrama de flujo de proceso de actividades de Puritronic San Román

En la Figura 3 se logra apreciar, que es un ciclo, el cual inicia con el consumidor y termina con el consumidor, para nuevamente volver a iniciar. En la etapa de recepción es recibido el garrafón en ventanilla o por medio de la unidad de reparto, posteriormente el garrafón es dirigido a la etapa de inspección, siguiendo el flujo a la limpieza de los mismos, una vez limpio y liberado es llevado al área de llenado, una vez lleno es tapado y sellado con la garantía, se le coloca la fecha de caducidad y si es requerido en el momento se entrega al cliente o a la unidad de reparto, en otro caso el garrafón es almacenado, dicho proceso es descrito en el apartado 3.2.3 Descripción de los procesos.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad nos enfrentamos continuamente a la variabilidad, ambigüedad y la incertidumbre; a pesar de la facilidad que se tiene hoy en día para acceder a la información, por lo que se entiende que, predecir con precisión el futuro, no se puede (IBM, 2020).

Para proceder al desarrollo del presente proyecto, es importante conocer e investigar información documental, que genere conocimiento acerca de la simulación de un proceso, así como de simulación con software SIMIO®. Por lo antes mencionado se presenta información relacionada con el dicho tema.

2.1 Método de simulación de eventos discretos para modelar el procesamiento de pasajeros en un aeropuerto internacional

Departamento de Gestión del Transporte y Logística, Universidad de Moratuwa, Katubedda, Sri Lanka en 2020 realizo una la investigación refiere una metodología para llevar a cabo el modelado del procesamiento de pasajeros en la salida de una terminal de un aeropuerto internacional. Dicha metodología se fundamentó con la teoría de simulación de eventos discretos que permite la capacidad de generar un modelo de una red de procesadores bajo un esquema de demanda variable, en el tiempo que se observó y analizo en las terminales de algunos aeropuertos y detectar cualquier cuello de botella existente. El modelado de simulación en eventos discretos se desarrolló con la utilización del software SIMIO® 11, el cual funciona para realizar un "análisis hipotético" del sistema. Aunado a ello, el modelo de simulación fue desarrollado basando en un estudio de caso en el Aeropuerto Internacional Bandaranaike, Sri Lanka (Munasingha & Adikariwattage, 2020).

2.2 Optimización de la línea de ensamblaje utilizando el estándar de tiempo MTM y el modelado de simulación: un estudio de caso

Breznik en 2023 realizó un estudio que muestra un enfoque para solucionar el problema de equilibrio de la línea de montaje (ALBP) utilizando el software de simulación y estándar de

tiempo Methods-Time Measurement (MTM). El ALBP es común en la industria donde se debe asignar un conjunto de actividades con tiempos fijos en una cadena de estaciones de trabajo continuos para disminuir el tiempo total de inactividad, así mismo minimizar el costo de ensamblaje por producto. En dicho estudio utiliza MTM, el cual es un método de programación de procesos de producción comúnmente utilizado, para generar un nuevo estudio de tiempo de un proceso de ensamblaje el cual anticipadamente se equilibró con la utilización del método del factor de trabajo y el estudio de tiempos. Se efectuó una simulación de una línea de montaje utilizando el software SIMIO® para evaluar diversas opciones de escenarios y diseños operativos. Por lo antes mencionado los resultados obtenidos muestran que el uso de MTM así como la simulación pueden ayudar a disminuir el tiempo de inactividad y optimizar el rendimiento de la línea de montaje, minimizando así los costes e incrementando la eficiencia. Este estudio demuestra que el enfoque de la utilización de MTM aunado a la simulación es eficaz para resolver ALBP y es un instrumento útil para que las empresas manufactureras optimicen el rendimiento de sus líneas de montaje y disminuyan costos (Breznik et al., 2023).

2.3 Una herramienta basada en simulación para apoyar la toma de decisiones en el diseño logístico de una línea de envasado de latas

Achkar et al., 2020 realizó un estudio que plantea una herramienta avanzada que se basa en simulación de eventos discretos para mejorar y apoyar la toma de decisiones, en el diseño logístico interno de una línea de envasado de una empresa cervecera multinacional. SIMIO®, el software seleccionado, permite predecir, asesorar y emular el comportamiento de sistemas complejos de casos reales. El modelado de simulación brinda una interfaz 3D que permite la verificación y validación. En el presente trabajo, el modelo diseñado se utilizó para lograr comprender las interacciones dinámicas entre diversos factores y medidas de desempeño, incluyendo los sistemas de inventario, así como manejo de materiales, y lograr establecer las capacidades y/o cantidades de recursos necesarios para la futura línea de envasado de latas. Basado en el modelo propuesto, se realiza un estudio hipotético con el cual se determina los valores umbral de inventario y otras variables críticas con la finalidad de lograr la optimización, la distribución de la logística interna en escenarios potenciales (Achkar et al., 2020).

2.4 Layout and material flow optimization in digital factory

Centobelli et al., 2016 menciona que, para realizar productos personalizados, la capacidad en particular para empresas de ingeniería bajo pedido, es un elemento clave para ser competitivos en el mercado actual sin incurrir en ningún costo añadido y respetando los tiempos de entrega al cliente. El constante cambio, en este entorno, la optimización del diseño es una exigencia primordial, Para, lo que el desarrollo de un diseño virtual, de acuerdo con los conocimientos de Digital Factory, puede ser muy útil para identificar y resolver problemas potenciales durante la fase de planificación, antes de realizarlo. La finalidad del presente trabajo está representada por la propuesta de una reconfiguración del layout y solución tecnológica para el método de alimentación de piezas de la planta industrial examinada con la finalidad de reducir los tiempos de fabricación. En la primera fase, se suministra una descripción general de las aplicaciones de Digital Factory. En la segunda fase, tras el estudio de los datos en una empresa manufacturera italiana, se diseñó y probó un modelo de simulación con la utilización del software de simulación SIMIO®. Los datos obtenidos de las simulaciones relativas a la fabricación y los tiempos de cola obtenidos de diferentes pedidos se comparan con los datos de configuración reales. Dichos resultados de la investigación indican que la compañía encuestada ha tenido una mejora en términos de disminución de los tiempos de espera y por consecuencia aumentado la satisfacción de los clientes esto se debió a la disminución total del tiempo de entrega de producción (Centobelli et al., 2016).

2.5 Gestión de la cadena de suministro: un enfoque novedoso para la mitigación de riesgos para múltiples componentes de incorporación y eliminación gradual

Renteria et al., 2021 menciona que actualmente manufactura cambia constantemente, adaptándose a las nuevas tecnologías y efectuando mejoras en el diseño de sus productos. Es bien sabido que lidiar con cambios en el diseño de ingeniería puede simbolizar una mejora o un ahorro para la empresa, así como puede terminar siendo un gran riesgo de obstáculo en la cadena de suministro. Se analiza un estudio de caso para un método de cadena de suministro de dos

niveles con la utilización del software de simulación SIMIO®, primeramente, para predecir el impacto originado en términos de tiempo de entrega y costo total al combatir con la transición de variados componentes de entrada y salida gradual. Para disminuir el impacto creado en el lead time y el costo total, se compararán diferentes modelos deterministas para la gestión de inventarios, considerando la Cantidad de Orden Económica (EOQ) y la Cantidad de Orden de Producto (POQ). El resultado obtenido demostró que el modelo determinista EOQ es el óptimo para esta simulación en particular, con un incremento en pedidos entregados del 6,10 % y los ingresos totales del 83,77 % (Renteria et al., 2021).

2.6 Mejora del proceso de producción de una panadería: un enfoque de simulación

Geraldes et al., 2024 realiza una investigación que está basada en simulación de un proceso de producción en una panadería portuguesa. Con el objetivo de analizar diferentes métodos productivos, para poder así proponer mejoras, mediante el uso de simulación de eventos discretos. Se estudio un conjunto de parámetros notables de los cuales seleccionaron cuatro procesos operativos para llevar a cabo los modelados con la utilización del software SIMIO® (Modelado de Simulación basado en Objetos Inteligentes). El estudio de los modelos realizados resalto la necesidad de mejoras y es por ello que se generaron diferentes escenarios. Dentro de los resultados obtenidos, se halló que la posible implementación de escenarios de producción mixtos permite aumentar el nivel de producción conservando los recursos que existen actualmente. Para concluir, la presente investigación resaltó la capacidad de la técnica de simulación para examinar métodos de manufactura, mediante la creación de algunos escenarios, facilitando conocimientos sobre el proceso operativo, optimizando el nivel productivo de las empresas(Geraldes et al., 2024).

2.7 Realización de diseño experimental y optimización de un negocio innovador de alquiler de vehículos.

Basan et al., 2015 presenta un artículo muestra un modelo actualizado de simulación de eventos discretos enfocados a objetos en 3D, elaborado con el software SIMIO®, con el objeto de optimizar el diseño y la operación de un nuevo servicio de arrendamiento de automóviles. La propuesta de modelo base de simulación se utiliza para la realización de un análisis de sensibilidad exhaustivo en las principales variables del proceso. Como principal objetivo se tiene el determinar la mejor distribución del sistema, que permita aumentar las ganancias de la compañía y al mismo tiempo lograr satisfacer un nivel considerable de servicio a los clientes (Basán et al., 2015).

2.8 Modelo de Simulación del Efecto del Protocolo de Bioseguridad COVID-19 en las Colas para el Regreso a Clases Presenciales

Coronado-Hernandez et al., 2023 presenta un artículo que muestra un modelo de simulación como resultado del protocolo de Bioseguridad COVID-19 en las colas para el regreso a clases en modalidad presencial, como ejemplo para el retorno de las actividades educativas. Los lineamientos establecidos para enfrentar la pandemia de COVID-19, afectaron considerablemente la normalidad de las actividades diarias en la educación superior, estableciendo un gran desafío ya que los lineamientos asi como las condiciones de regreso y acceso a las instituciones ya no son como se realizaba antes de la pandemia. El presente artículo tiene por objetivo la realización de una simulación de colas mediante el uso de software SIMIO® (Software de simulación de procesos logísticos), donde se considera el número de estudiantes esperados por día, así como los tiempos medios de ingreso para poder ajustarlos a una distribución exponencial, mediante dicha información cargada en la simulación se establecerá si los tiempos se incrementan o disminuyen considerando la teoría de colas y condiciones presentadas en el estudio como lo es la distribución de probabilidad de tiempo de cada proceso involucrado en el ingreso a las instalaciones de la Universidad (Coronado-Hernandez et al., 2023).

2.9 Modelado de procesos de asistencia en tierra en el software SIMIO

Kwasiborska & Postół, 2021 menciona que en la actualidad se presta más atención al incremento de la capacidad del espacio aéreo, así como de los aeropuertos (capacidad aeroportuaria) Esto se debe al incremento del tráfico aéreo. El incremento del tráfico aéreo mundial se percibe no sólo en la gestión del movimiento de aeronaves en el aire, sino también en el desarrollo de las operaciones en los aeropuertos. Cada vez más un número mayor de aeropuertos debe resolver la problemática de la capacidad aeroportuaria. Dicho problema se puede solucionar con el desarrollando la infraestructura aeroportuaria, por lo que es extremadamente importante examinar los procesos en el aeropuerto. Un aeropuerto cuenta con las instalaciones e infraestructura necesaria para permitir la implementación eficiente y segura del tráfico aeroportuario. La circulación aeroportuaria se divide las aeronaves que realizan operaciones de aterrizaje y despegue, en el movimiento de aeronaves después del aterrizaje, así como antes de la salida y las actividades en plataforma. La manipulación de aeronaves se ajusta con el manejo de correo, pasajeros, equipaje, entre otras cargas. Es primordial la atención al proceso de asistencia en tierra y a la coordinación entre las entidades pertinentes. Servicios de apoyo en tierra incluye las actividades realizadas cuando una aeronave está estacionada en un lugar de estacionamiento. De las actividades en el stand de aeronaves se logra diferenciar varias categorías de servicios realizados en el aeropuerto para las aerolíneas. Hay una relación entre el servicio de aeronaves en un lugar de estacionamiento, las rutas de rodaje y las actividades en pista. Lo que ocurre en el tráfico de aeródromo terrestre puede referir como una serie de operaciones elementales para el movimiento de aeronaves en el área del aeropuerto y en las plataformas. El orden de las actividades de asistencia en tierra realizadas en un lugar de estacionamiento de aeronaves afecta en el momento final de la asistencia en tierra y a la autorización de despegue de las aeronaves. Las actividades de aeródromo descritas en el aeropuerto interactúan entre sí para crear una estructura que consta de una sucesión de actividades que acontecen en paralelo o en cadena. El presente artículo inspecciona el proceso de asistencia en tierra de las aeronaves e incluye un estudio basado en mediciones en tiempo real de los pasos dados durante la asistencia en tierra. Se elaboro un modelo base y se simuló un modelo de asistencia en tierra utilizando el software SIMIO®. El modelo elaborado fue verificado con mediciones reales tomadas en un aeropuerto. Se realizo un análisis de la

permanencia de la ejecución de actividades individuales para diversos tipos de aeronaves. En base a ello se confirmó la fiabilidad del modelo y se ejecutaron varias simulaciones. Como parte del artículo de los resultados se examinaron caminos críticos. El modelo base se utilizará para ingresar procesos de interferencia y estudio que involucran un stand para estimación del impacto de la interferencia en la realización oportuna de operaciones principales (Kwasiborska & Postół, 2021).

2.10 Un marco de modelado de sistemas de manipulación de materiales: un enfoque basado en datos para la generación de modelos de simulación de eventos discretos

Soufi et al., 2024 menciona que la reconfiguración de los técnicas de manipulación de materiales (MHS) a escala de fábrica son complejos. Se deben evaluar y considerar varias opciones de diseño y reconfiguración mediante indicadores tales como: entrega a tiempo (OTD) dentro de la planta, tiempo de espera del producto, etc. Esto se debe al comportamiento dinámico de MHS, los enfoques basados en la simulación participan con un papel importante; un punto esencial en dicho estudio. Sin embargo, generar modelos de simulación para MHS puede ser muy tardado (principalmente para modelar sistemas a gran escala) y ser difícil de edificar (Son indispensables algunos conocimientos y habilidades para utilizar software de simulación). Para lolgrar estos retos, actualmente en la literatura se dan propuestas con enfoque basados en datos para la reproducción de modelos de simulación MHS. Mas cabe recalcar que, los enfoques disponibles se centran en dominios determinados y es posible que no siempre se consideren los datos necesarios, incluyendo las políticas de control de MHS. Por lo antes mencionado, el presente artículo tiene por objetivo presentar un marco que emplea un inventario de datos que reagrupa cinco categorías (diseño, características del producto, proceso de producción, proceso de manejo de materiales y métodos de control MHS). El presente estudio describe la estructura de datos utilizada para recolectar datos de simulación MHS, la opción de un instrumento de simulación, los esquemas de modelado integrados en las simulaciones y la implementacion de las reglas de transformación. El enfoque se ejecuta para formar el marco de generación. EL presente está elaborado para ayudar a losn que toman decisiones (que tienen conocimientos básicos de

simulación) evaluar alternativas de diseño/reconfiguración de MHS. Este artículo finalmente muestra una validación del marco en dos estudios de caso (Soufi et al., 2024).

2.11 Aporte de investigación

A continuación, en la Tabla 1 se presenta el aporte de investigación y la herramienta utilizada para la realización del modelado utiliza por una parte la librería estándar del software SIMIO® para representar diferentes partes del proceso, pero también utiliza para el tratamiento del agua la librería de flujo. La combinación de estas dos librerías (estándar y flujo) se considera un aporte interesante en el presente trabajo desarrollado, para futuras investigaciones de simulación con el uso de dicho software, generando así un modelo discreto que a su vez es continuo.

Tabla 1 Aporte de investigación

#	Autor	Modelo discreto	Modelo continuo	Modelo probabilístico	Uso de librería estándar	Uso de librería de flujo
1	*Soufi et al., 2024*	*		*	*	
2	*Geraldes et al., 2024*	*		*	*	
3	*Coronado-Hernandez et al., 2023*	*		*		
4	*Breznik et al., 2023*	*		*	*	
5	*Renteria et al., 2021*	*		*	*	
6	*Kwasiborska & Postół, 2021*	*		*	*	
7	*(Munasingha & Adikariwattage, 2020)*	*		*	*	

Continuación de tabla 1

#	Autor	Modelo discreto	Modelo continuo	Modelo probabilístico	Uso de librería estándar	Uso de librería de flujo
8	*Achkar et al., 2020*	*		*	*	
9	*Centobelli et al., 2016)*	*		*	*	
10	*Basán et al., 2015*	*		*	*	

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para la realización de la presente tesis, se utilizará la metodología propuesta para simulación con el software SIMIO®, que se describe en la Figura 4 Proceso para una simulación, la cual consta de 3 etapas importantes que son, información, diseño y análisis, cada una de dichas fases cuentan con sus etapas de cumplimiento para lograr el modelado.

Una vez obtenida la información y conocimiento necesario para la realización de la evaluación y mejora del proceso, es necesario establecer la secuencia de pasos a seguir para lograr el objetivo propuesto.

Para lograr llevar a cabo la evaluación y mejora del proceso de llenado de garrafones de la purificadora de agua denomina Puritronic San Román, mediante la simulación con software SIMIO®, fue necesario el monitoreo y recolección de datos en las instalaciones de la empresa, por otra parte, para lograr establecer un análisis de datos se utilizó el software ***Stat::Fit;*** así mimo para la elaboración del modelo, el software SIMIO®.

Cabe mencionar que en el uso de ambos softwares se trabajó en las instalaciones del **Instituto Tecnológico superior de Huatusco.**

Se comprende que simular un sistema real, es replicar el comportamiento, mediante un modelo que funciona de la misma forma, es crear un gemelo virtual, la simulación se usa como soporte en el diseño, emulación y operación de sistemas.

3.1 METODOLOGÍA

Para lograr llevar a cabo la evaluación y mejora del proceso de llenado de garrafones de la purificadora de agua denomina Puritronic San Román, mediante la simulación con el uso del software SIMIO®, fue necesario el monitoreo y recolección de datos en las instalaciones de la empresa, por otra parte, para lograr establecer un análisis de datos se utilizó el software ***Stat:Fit***®; quien por medio de pruebas de bondad de ajuste, nos ayuda a verificar, cual es la

variable a la que más se ajusta. Cabe mencionar que para llevar a cabo la elaboración del modelo de simulación de Puritrnic San Román, con el uso de los softwares antes mencionados; se trabajó en las instalaciones del **Instituto Tecnológico Superior de Huatusco**

A continuación, en la Figura 4, se muestra la secuencia de pasos que se siguen para el desarrollo de un proyecto de simulación; ya que todo estudio de simulación se compone de tres etapas, que son: información del sistema a modelar, diseño de un modelo de simulación que represente fielmente la realidad del sistema y el análisis de posibles escenarios que impacten directamente en los indicadores de productividad de la empresa.

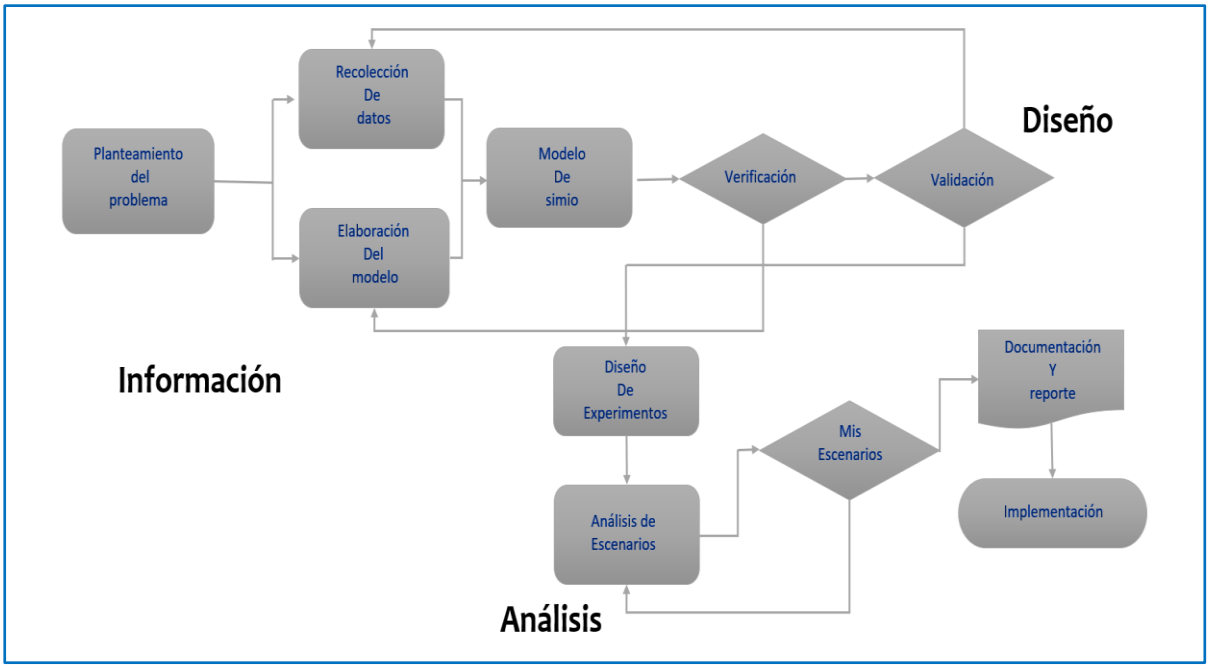


Figura 4 Proceso para una simulación con el uso del software SIMIO®

A. Información: Etapa en la cual se lleva a cabo la recolección de información del sistema, es decir, su funcionamiento, sus restricciones y particularidades, así mismo se recolecta la información estadística de las variables aleatorias que se identifican, y se llevan a cabo las pruebas de bondad de ajuste para determinar el tipo distribución que representan los a dichas variables aleatorias.

B. Diseño: Etapa donde se crea un modelo de simulación que es el gemelo virtual del sistema que se está analizando con el nivel de detalle necesario para responder al planteamiento de la etapa de información, este modelo se deberá verificar el funcionamiento, mismo que fue descrito en la primera etapa y una vez que se tenga la certeza del funcionamiento, el siguiente paso es validar estadísticamente los resultados que le modelo arroja, contra los resultados que se presentan en las muestras obtenidas en la etapa de la información.

C. Análisis: Es la etapa donde a través del modelo de simulación o gemelo virtual se puede generar información para la toma de decisiones, así como alternativas de funcionamiento del sistema. En otras palabras, el modelo una vez que fue verificado y validado, ahora se tiene la posibilidad de efectuar los cambios que sean factibles tanto técnicamente, como financieramente, para presentar diversos escenarios que permitan evaluar mejoras en el sistema.

3.2 Información

La primer etapa denominada información, consta de 3 puntos relevantes a seguir para lograr el modelado y simulación de las condiciones del proceso actual de la purificadora, iniciando de la siguiente manera.

3.2.1 Planteamiento del problema

Se describe la problemática actual de la empresa, en la que se realiza el presente proyecto de investigación.

Se encuentra con deficiencias en el nivel de producción diario, esto se debe al llenado de garrafones, ya que el proceso es lento y retrasa el surtimiento en ventanilla, así como en la unidad de reparto, lo que por consecuencia genera una perdida en ventas y clientes.

La problemática deriva de la metodología, proceso, o serie de pasos que lleva a cabo el personal, al realizar la limpieza de los garrafones, por lo que se requiere mejorar tiempos y movimientos de dicho flujo de actividades, mediante la simulación ya que la misma ayudaría a visualizar el flujo, comportamiento y tiempo en diferentes escenarios de propuestas, antes de generar paros de producción innecesarios y por consecuencia clientes insatisfechos.

Ante la visión de atraer nuevos clientes e incremento de pedidos, surge la incertidumbre, ¿la capacidad de producción abastecerá la demanda y lograr la satisfacción del cliente?

3.2.2 Recolección de datos

Cada proceso cuenta con propiedades específicas, las cuales influyen sobre el funcionamiento notablemente en el flujo de su metodología; en ello radica la importancia de conocer el funcionamiento los recursos y las limitaciones del sistema a modelar.

Se debe contar con la información necesaria para construir el modelo que muestre las condiciones actuales del proceso, es decir establecer variables; por lo que se identifican los datos necesarios que hacen referencia a la problemática antes mencionada, principalmente datos como tiempos y cantidades; para posteriormente definir indicadores de productividad, el cual es el tiempo en cada uno de los procesos; así como variables aleatorias y parámetros del proceso actual, para el logro de la obtención de datos, se toma una semana normal, de manera presencial, al inicio de turno se realiza la verificación de la capacidad de almacenamiento de tanques, se realiza el conteo del número de garrafones recibidos en ventanilla, numero de garrafones recibidos de la unidad de reparto, numero de garrafones almacenados en el estante, numero de garrafones lavados y llenados en una jornada de 8 horas; así mismo con ayuda de un cronometro se determinó el tiempo de inspección de garrafones, tiempo de limpieza y enjuague garrafones, tiempo de llenado de garrafones, tiempo de etiquetado, tiempo que tarada la unidad de reparto en realizar su ruta, cuantas rutas realiza la unidad de reparto en una jornada de 8 horas, tiempo de llenado de tanques y capacidad de producción diaria, todos los datos recolectados, fueron vaciados en un archivo de Excel.

Obtenida la información el siguiente paso es elaborar un modelo conceptual del proceso de operación, el cual se puede observar el flujo de proceso de actividades de la empresa.

3.2.3 Descripción de los procesos.

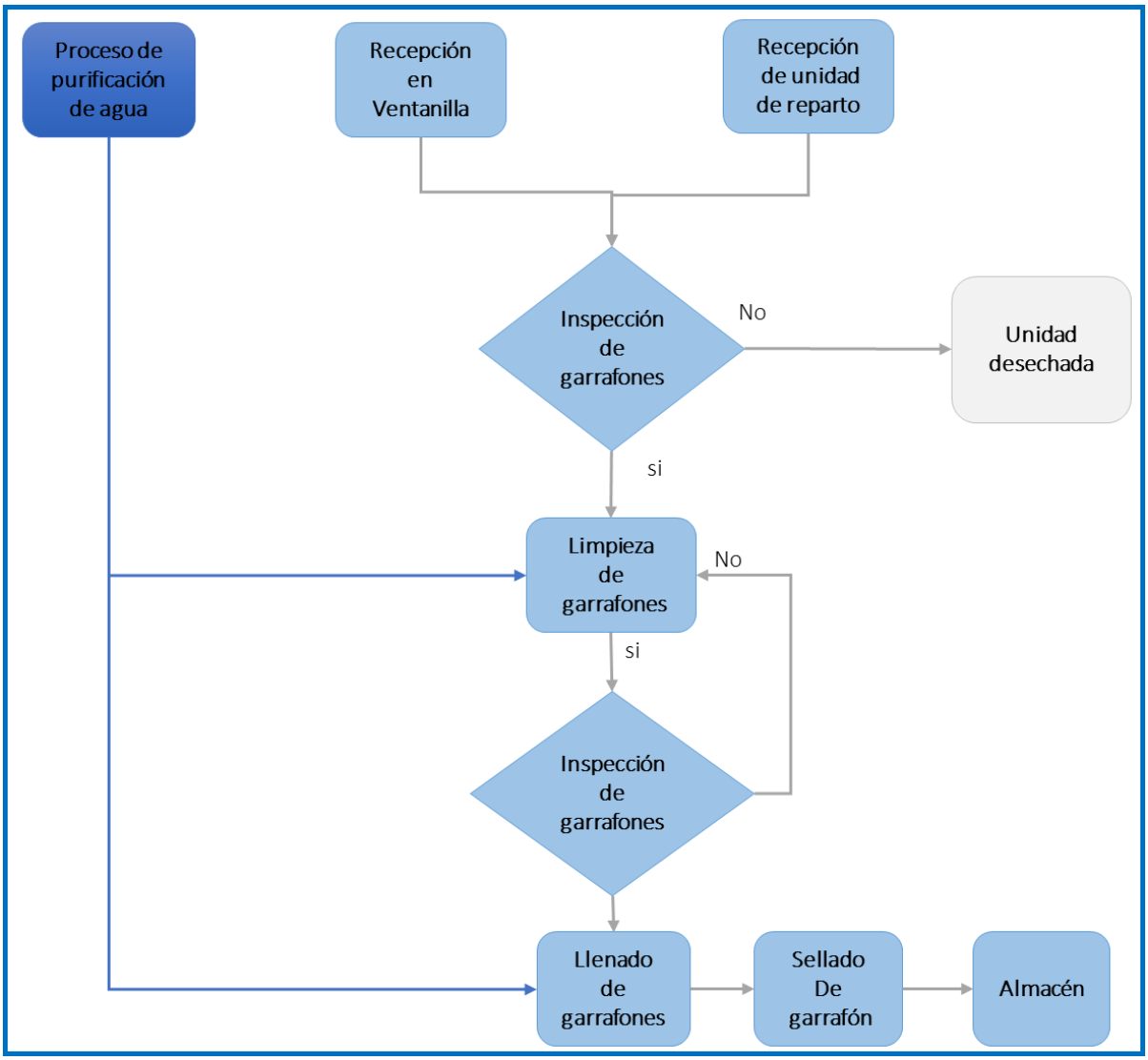


Figura 5 Mapa conceptual del proceso de operación de Puritroinc San Román.

En la Figura 5, se muestra un mapa conceptual del proceso de actividades que se llevan a cabo dentro de las instalaciones de la empresa, mismas que son necesarias para la obtención del

garrafón en condiciones óptimas para ser llenado con agua purificada y posteriormente, entregado al consumidor. En dicho modelo conceptual se logra apreciar el ciclo del garrafón, al ser recibido, inspeccionado, lavado y nuevamente llenado, esto por medio de la recepción en ventanilla, así como de las unidades de reparto.

A continuación, se realiza una descripción del proceso de actividades que se llevan a cabo para la obtención del producto, misma que brinda ayuda para comprensión y visualización de la metodología empleada en la empresa.

Es de gran importancia conocer las etapas del proceso para poder comprender la finalidad del presente proyecto.

a) **Recepción de Materia Prima**: Se recibe el agua en una cisterna con capacidad de 10,000 litros.

b) **Proceso de purificación de agua:** Se lleva a cabo la purificación de agua, recepcionándose como materia prima, el agua; posteriormente sigue un flujo continuo pasando por diferentes filtros que ayudan a la eliminación de cloro, eliminación de partículas extrañas otorgan brillo y pulen el agua; para seguir su flujo hacia la luz ultravioleta para inhibir el desarrollo de bacterias tal como se menciona en la descripción de la Figura 6.

c) **Recepción de garrafones:** proceso en el cual se recibe el garrafón proveniente de ventanilla o de las unidades de reparto; los garrafones son colocador en filas para ser contabilizados y pasar a la siguiente etapa.

d) **Inspección:** Se realiza una inspección minuciosa de los garrafones con los siguientes pasos:
   - ✓ Se levanta el garrafón y es coloca contra luz para verificar que no se encuentre astillado, quebrado, parchado o contenga algún objeto dentro del mismo, así como comida; se inspecciona en el interior, que no muestra evidencia de

desarrollo de algún tipo de hongo. En caso de que se detecte algún garrafón que incumpla con lo antes mencionado es rechazado.

- ✓ La boquilla del garrafón es colocada frente a la nariz y se inhala para asegurar que el mismo no haya contenido agua de sabor o alguna otra sustancia, en caso de que presente algún aroma extraño, el mismo es colocado en una nueva fila para un lavado reforzado, es decir con limpiador concentrado y no diluido.
- ✓ El garrafón es colocado en una fila para que se proceda al lavado.

e) **Limpieza de garrafones:** Se realiza la limpieza de garrafones, cabe mencionar que durante este proceso nuevamente es inspeccionado el garrafón, para llevar a cabo la limpieza, de la siguiente manera:

- ✓ Se cuenta con una solución jabonosa para realizar la limpieza.
- ✓ Una vez lista la solución, se agregan al garrafón con ayuda de una jícara; Para los garrafones que en la inspección presentaron un aroma extraño, se les agrega limpiador concentrado, es decir sin diluir.
- ✓ Se sujeta el garrafón con las dos manos y se hacen movimientos circulares con el mismo para que la solución jabonosa recorra todo el garrafón por dentro.
- ✓ Se introduce el taladro para cepillar por dentro, y eliminar la suciedad que pudiera tener (el taladro es un equipo hechizo el cual está armado con un taladro y un escobillón).
- ✓ Una vez cepillado el garrafón es colocado de frente y se inhala para verificar que no presente aromas ajenos a la solución jabonosa, en caso de que, si presente un aroma diferente a la solución jabonosa, es colocado en una fila aparte. Para posteriormente ser clorados durante 24 horas.

  Se procede a cepillar el garrafón por la parte externa, con ayuda de una fibra haciendo movimientos circulares tratando de cubrir todo el exterior del garrafón.
- ✓ Una vez cepillado se procede a enjuagar el exterior del mismo y posteriormente con ayuda de agua a presión, se sujeta con ambas manos y se hace movimientos circulares para que el agua a presión llegue a todas partes del interior del garrafón.

- ✓ Nuevamente el garrafón es colocado a contra luz para verificar la eliminación de partículas.
- ✓ El garrafón está listo para ser llenado.

f) **Llenado:** Se lleva a cabo el llenado de garrafones o botellas según el requerimiento; se toma y se inspecciona visualmente contra luz para verificar que haya sido lavado correctamente, la boquilla del garrafón es colocada debajo de la llave para ser llenado.

g) **Sellado de garrafón:** Una vez que el garrafón está lleno, se le coloca la tapa y posteriormente se le coloca el sello de garantía; se aplica aire caliente para la contracción del sello de garantía y se le coloca lote y caducidad.

h) **Almacenamiento:** El garrafón es colocado en un estante, listo para ser entregado en ventanilla o ser llevado en la unidad de reparto.

El agua como materia prima en el proceso de producción de la empresa en donde se realizó la presente tesis es de gran importancia, además de ser un proceso noble es un método sencillo y eficaz para obtener agua limpia potable, de consumo para las personas.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo de proceso de purificación de agua que se realiza en la empresa Puritronic San Román.

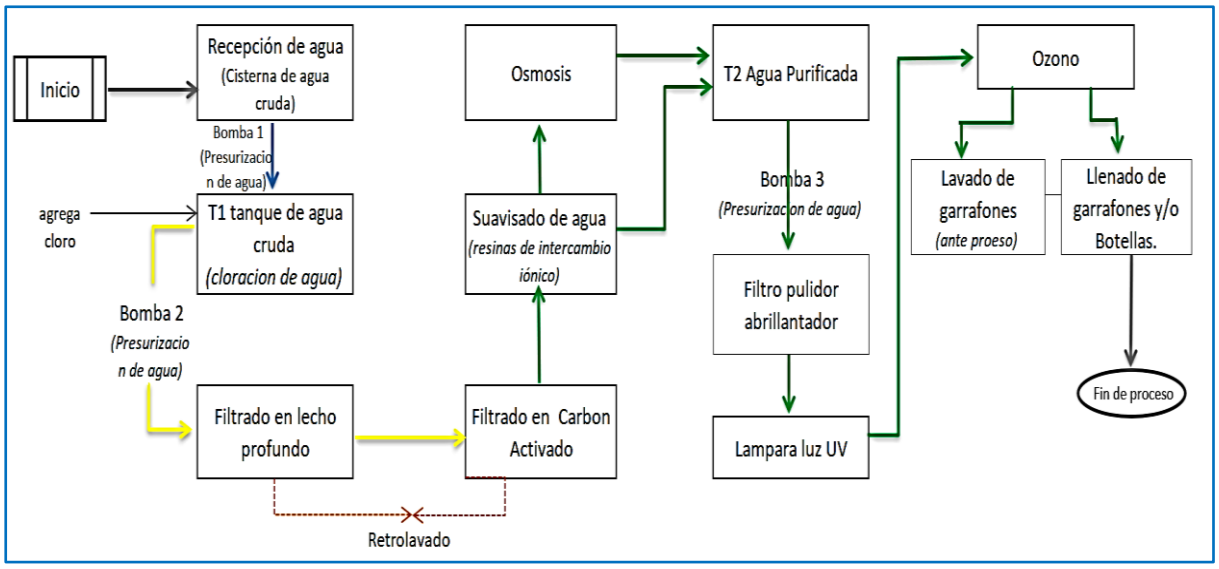


Figura 6 Diagrama de flujo de proceso de purificación de agua de Puritronic San Román

En la Figura 6 se puede observar la secuencia de pasos del proceso de purificación de agua, el flujo que lleva el agua desde su recepción, hasta que se vuelve un producto terminado; así mismo se observa el método de purificación, el cual se describe a detalle a continuación:

a) **Recepción de agua:** El agua llega por medio de tuberías y es almacenada en la cisterna, la cual tiene una capacidad de 10,000 litros; con ayuda de la bomba número 1 se succiona el agua para ser trasladada al Tanque 1.

b) **Tanque # 1:** Tanque con capacidad de 3500 l, el agua cruda que se almacena en el tanque es clorada y posteriormente, con ayuda de una bomba es dirigida hacia el lecho profundo.

c) **Lecho profundo:** En esta etapa se lleva a cabo la disminución de concentración de sólidos suspendidos y partículas flotantes, este es un fino filtro compuesto de grava y arena, el agua pasa a través del filtro y las partículas se eliminan mediante absorción y encapsulación física.

d) **Filtro de carbón activado:** En esta etapa se lleva a cabo la eliminación de impurezas y contaminantes, tales como materia orgánica, partículas pequeñas y gases, después de esta etapa el agua que se obtiene es más clara y sin olor.

e) **Suavizador de agua:** Es un tanque de salmuera en la que se lleva a cabo un intercambio iónico – catiónico para lograr la eliminación de sales minerales, es decir para disminuir o eliminar la dureza del agua.

f) **Osmosis:** Por medio de membranas remueve el exceso de sales, minerales y componentes orgánicos.

g) **Tanque 2 de agua purificada:** El agua tratada es almacenada y se envía a la osmosis inversa.

h) **Filtro pulidor abrillantador:** Remueve impurezas o partículas presentes en el agua, para dejarla brillante y cristalina.

i) **Lampara de luz UV:** Elimina el 99% de macroorganismos patógenos en el agua.

j) **Ozono:** genera ausencia de oxigeno evitando que se generen de nuevo bacterias, por lo cual permite que el agua dure más tiempo y conserve su calidad.

k) **Llenado de garrafones y botellas:** se coloca el garrafón o botella y se realiza el llenado para posteriormente ser tapado, sellado y almacenado como se menciona en la descripción del proceso.

Una vez conocido el método operativo de la empresa y la metodología de su proceso, se procede la recolección de datos, los cuales se obtuvieron estando al pie de proceso, con ayuda de un lápiz y hoja de papel se toman los datos de tiempo en las instalaciones, es decir la recolección de datos de una semana, posteriormente son vaciados en una hoja de Excel. Se obtuvieron los siguientes resultados en atención de ventanilla.

Tabla 2 Solicitud de garrafones de ventanilla en Puritronic San Román

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sabado
08:00	4	5	5	6	4	4
09:00	1	1	0	2	1	4
10:00	4	0	2	3	4	3
11:00	2	3	2	2	1	3
12:00	5	4	5	6	5	6
01:00	5	4	4	4	0	5
02:00	6	7	5	4	6	7
03:00	0	2	2	3	2	2
04:00	0	4	2	1	4	2
05:00	3	5	3	4	4	0
Total	30	35	30	35	31	36

En la Tabla 2 se logra apreciar de la recolección de datos que se realizó en la semana del Lunes 24 al Sábado 29 de Julio de 2023,en un horario de 8:00am a 05:00 pm, la cantidad de garrafones solicitados en ventanilla fue de un mínimo de 30 y máximo 36 garrafones, durante una semana en una jornada de ocho horas; así mismo se aprecia que las horas con mayor asistencia de clientes es a las 8 am, 12:00, 13:00, 14:00 y 17:00 horas con un máximo de 7 garrafones y un mínimo de 3 garrafones.

Tabla 3 Surtimiento de garrafones a unidad de reparto

Hora	Lunes 24	Martes 25	Miércoles 26	Jueves 27	Viernes 28	Sabado 29
08:00						
09:00	40	42	38	42	42	35
10:00						
11:00						
12:00						
01:00	40	42	30	42	42	21
02:00						
03:00	28	28	28	28	28	28
04:00						
05:00						
Total	102	112	96	112	112	84

En la Tabla 3 se muestra una tabla con datos obtenidos del monitoreo de una semana, donde se menciona la cantidad de garrafones solicitados por unidades de reparto; en donde se logra apreciar que en la semana del lunes 24 al sábado 29 de Julio de 2023, en un horario de 8:00am a 05:00 pm, la cantidad de garrafones solicitados por la unidad de reparto fue de un mínimo de 84 y máximo 112 garrafones, durante una semana normal de producción.

El plan de muestreo establece una toma de entre 5 y 10 muestras, por lo que se llevó a cabo la toma de 10 muestras con 10 datos; Es decir una corrida es igual a 10 garrafones, lo que género

que se anotaran 100 datos, de igual manera para lavado interno, externo, enjuague interno, externo, llenado y etiquetado.

En la Tabla 4 se observa los datos de las muestras de tiempo, obtenidos durante el proceso en la etapa de *lavado interno*; de igual manera se recolectaron datos de tiempo para lavado externo, enjuague interno, externo, llenado y etiquetado.

Tabla 4 Toma de tiempo de lavado interno de Puritronic San Román

# de muestra	**Inicio**	**Fin**	Tiempo	Minutos
1	10:02:00	10:02:30	00:00:30	0.50
2	10:02:30	10:02:55	00:00:25	0.42
3	10:02:55	10:03:14	00:00:19	0.32
4	10:03:14	10:03:44	00:00:30	0.50
5	10:03:44	10:04:28	00:00:44	0.73
6	10:04:28	10:05:13	00:00:45	0.75
7	10:05:13	10:05:35	00:00:22	0.37
8	10:05:35	10:05:57	00:00:22	0.37
9	10:05:57	10:06:18	00:00:21	0.35
10	10:06:18	10:06:57	00:00:39	0.65

En la Tabla 4 se muestra los datos obtenidos durante la realización del muestreo en sitio, donde se logra observar el tiempo que se tardan un colaborador para realizar la limpieza del garrafón en el proceso de lavado interno, en dicho proceso se observa que la limpieza interna se realiza

en promedio entre 69 y 85 segundos. De la misma manera se realizó el registro de datos para externo, enjuague interno, externo, llenado y etiquetado, cada uno de los mencionados fue monitoreado obteniendo un total así de 100 datos por actividad, es decir 600 datos de tiempos.

Para lograr obtener el modelo base de simulación con respecto a la información de operación original; es necesario realizar muestras aleatorias por etapa monitoreada con ayuda del software ***Stat::Fit* ®.** El cual nos ayuda con las pruebas de bondad de ajuste y a determinar el tipo de distribución que siguen las mismas.

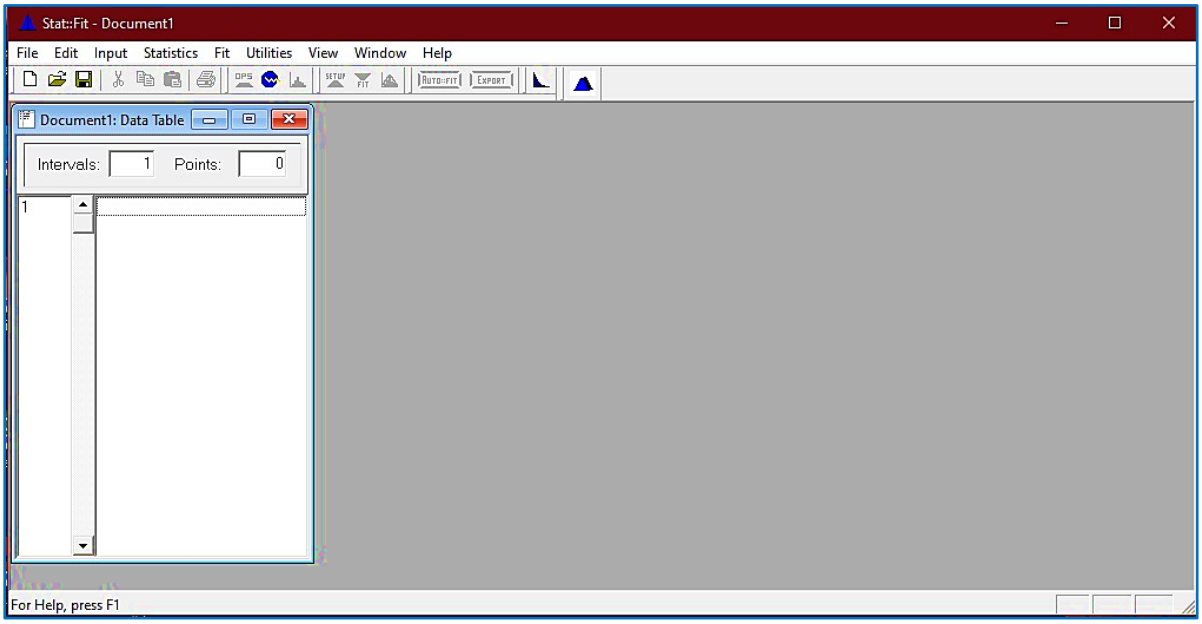
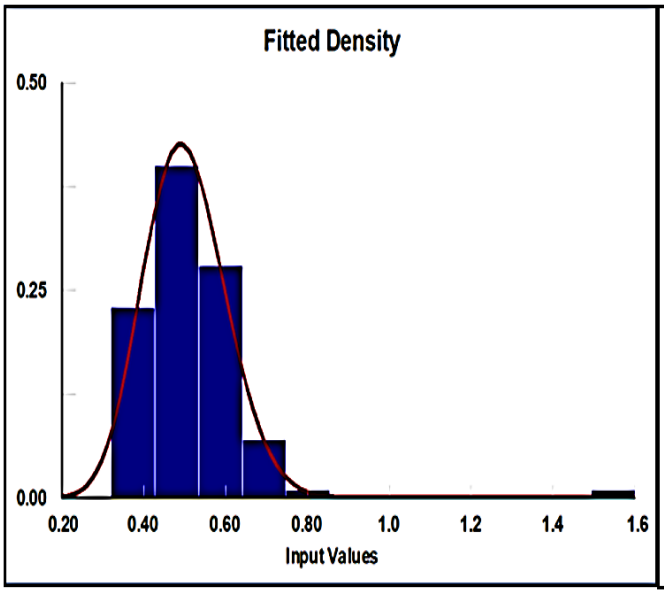


Figura 7 Pantalla principal del Software Stat:Fit®.

En la Figura 7 se muestra una imagen dela pantalla principal de ***Stat:Fit***®, él cual es un software de análisis estadístico muy completo de ajuste de curvas. ***Stat:Fit***®, es un software que nos brindara ayuda para identificar, cuál es la mejor distribución que representes los datos aleatorios derivados del monitoreo de tiempos en las etapas de proceso, para así poder utilizarlos en el modelo de simulación inicial.

Para el análisis de datos se realizó mediante pruebas de bondad de ajuste, fue necesario realizar 10 muestras aleatorias de 100 datos, y se obtiene el resultado de la distribución que sigue cada una de las muestras aleatorias monitoreadas. Dentro de los resultados obtenidos del análisis de las muestras aleatorias, se muestra el proceso de lavado interno.



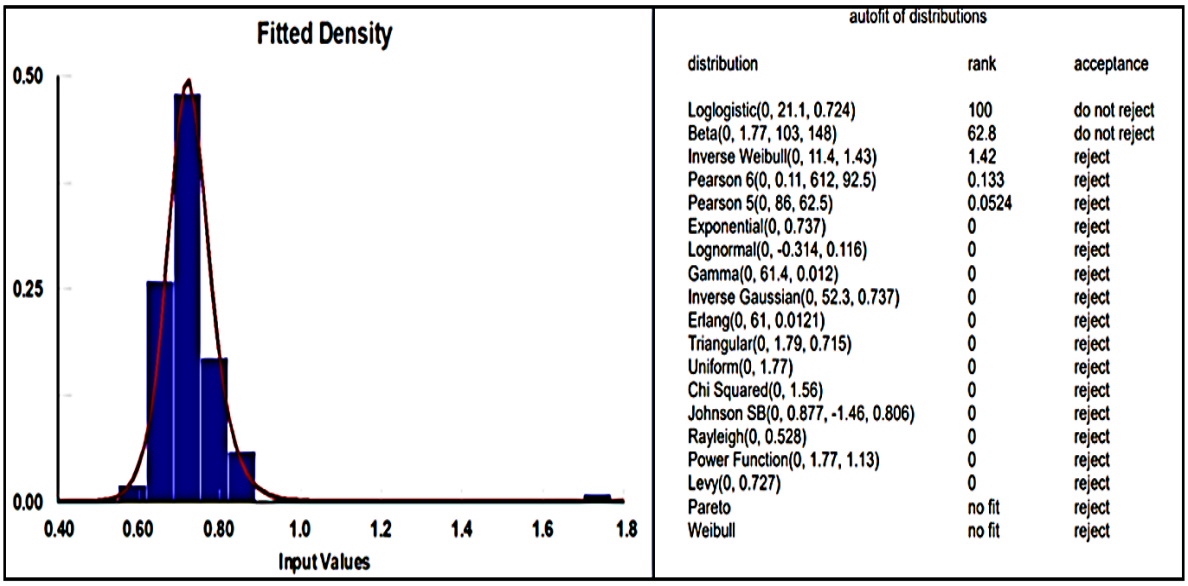
autofit of distributions

distribution	rank	acceptance
Beta(0, 1.6, 17.3, 37.9)	100	do not reject
Loglogistic(0, 7.99, 0.498)	77.7	do not reject
Lognormal(0, -0.698, 0.234)	45.7	do not reject
Johnson SB(0, 1.9e+07, 74.8, 4.28)	45.7	do not reject
Pearson 6(0, 0.0716, 152, 22.3)	38.4	do not reject
Pearson 5(0, 19.6, 9.51)	32.5	do not reject
Erlang(0, 17, 0.0302)	21.8	do not reject
Gamma(0, 16.8, 0.0305)	20.2	do not reject
Inverse Gaussian(0, 8.95, 0.513)	2.65	do not reject
Inverse Weibull(0, 4.75, 2.25)	0.797	do not reject
Exponential(0, 0.513)	0	reject
Triangular(0, 1.62, 0.421)	0	reject
Uniform(0, 1.6)	0	reject
Weibull(0, 2.98, 0.565)	0	reject
Rayleigh(0, 0.377)	0	reject
Chi Squared(0, 1.29)	0	reject
Power Function(0, 1.6, 0.856)	0	reject
Levy(0, 0.485)	0	reject
Pareto	no fit	reject

Figura 8 Prueba de bondad de ajuste de distribución de lavado Interno

En la Figura 8 Prueba de bondad de ajuste de distribución de lavado Interno, se observa la distribución que más se ajusta al proceso, en la etapa de lavado interno, la cual nos dice que su distribución es *Beta (0,1.6,17.3,37.9)* aunque también se ajusta a una *loglogistic, lognormal ,johnson,* y *Pearson,* para el presente estudio se utilizó una distribución *beta*.

Del mismo método se realizaron las pruebas de bondad de ajuste para las otras muestras del proceso, para obtener el análisis estadístico muy completo de ajuste de curvas.

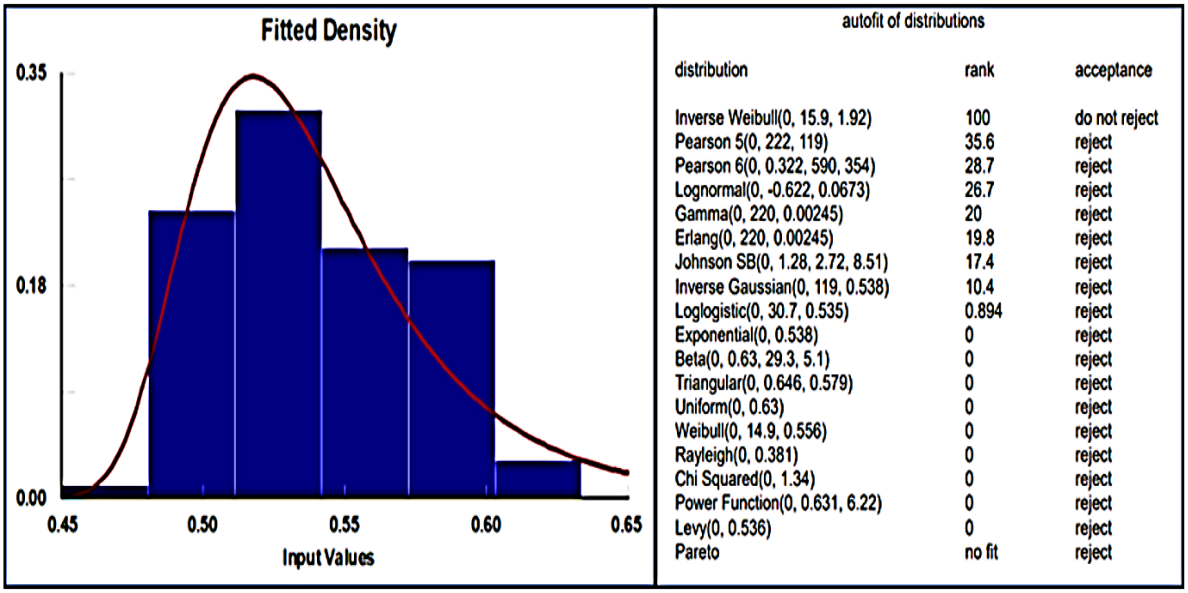


autofit of distributions

distribution	rank	acceptance
Loglogistic(0, 21.1, 0.724)	100	do not reject
Beta(0, 1.77, 103, 148)	62.8	do not reject
Inverse Weibull(0, 11.4, 1.43)	1.42	reject
Pearson 6(0, 0.11, 612, 92.5)	0.133	reject
Pearson 5(0, 86, 62.5)	0.0524	reject
Exponential(0, 0.737)	0	reject
Lognormal(0, -0.314, 0.116)	0	reject
Gamma(0, 61.4, 0.012)	0	reject
Inverse Gaussian(0, 52.3, 0.737)	0	reject
Erlang(0, 61, 0.0121)	0	reject
Triangular(0, 1.79, 0.715)	0	reject
Uniform(0, 1.77)	0	reject
Chi Squared(0, 1.56)	0	reject
Johnson SB(0, 0.877, -1.46, 0.806)	0	reject
Rayleigh(0, 0.528)	0	reject
Power Function(0, 1.77, 1.13)	0	reject
Levy(0, 0.727)	0	reject
Pareto	no fit	reject
Weibull	no fit	reject

Figura 9 Prueba de bondad de ajuste de distribución de lavado externo

En la Figura 9 se observa la distribución que más se ajusta al proceso, en la etapa de lavado externo, la cual nos dice que su distribución es l*oglogistic (0,21.1,0.724)* la cual será utilizada, pero también puede utilizarse una *beta, inverse Weibull* y *Pearson*.



autofit of distributions

distribution	rank	acceptance
Inverse Weibull(0, 15.9, 1.92)	100	do not reject
Pearson 5(0, 222, 119)	35.6	reject
Pearson 6(0, 0.322, 590, 354)	28.7	reject
Lognormal(0, -0.622, 0.0673)	26.7	reject
Gamma(0, 220, 0.00245)	20	reject
Erlang(0, 220, 0.00245)	19.8	reject
Johnson SB(0, 1.28, 2.72, 8.51)	17.4	reject
Inverse Gaussian(0, 119, 0.538)	10.4	reject
Loglogistic(0, 30.7, 0.535)	0.894	reject
Exponential(0, 0.538)	0	reject
Beta(0, 0.63, 29.3, 5.1)	0	reject
Triangular(0, 0.646, 0.579)	0	reject
Uniform(0, 0.63)	0	reject
Weibull(0, 14.9, 0.556)	0	reject
Rayleigh(0, 0.381)	0	reject
Chi Squared(0, 1.34)	0	reject
Power Function(0, 0.631, 6.22)	0	reject
Levy(0, 0.536)	0	reject
Pareto	no fit	reject

Figura 10 Prueba de bondad de ajuste de distribución de enjuague externo

Para el caso de las muestras de tiempo de enjuague externo, se logra observar que se ajusta a una sola distribución, la cual es *inverse weibull (0,15.9,1.92)* cómo se observa en la Figura 10 Prueba de bondad de ajuste de distribución de enjuague externo.

Dado que las variables de enjuague interno, llenado y etiquetado no se acoplaron a ninguna distribución, se utilizarán distribuciones empíricas probabilidad. Las variables que se ajustaron a las distribuciones por medio del ***Stat:Fit***®, así como las distribuciones empíricas de probabilidad, serán utilizadas para alimentar el modelo en SIMIO®.

3.3 Diseño

En esta etapa se realiza la construcción del modelo que simule la situación actual de la planta purificadora de agua Puritronic San Román, una vez establecidos los planes de muestreo, variables aleatorias identificadas, se procede a elaborar un modelo de simulación con software SIMIO®.

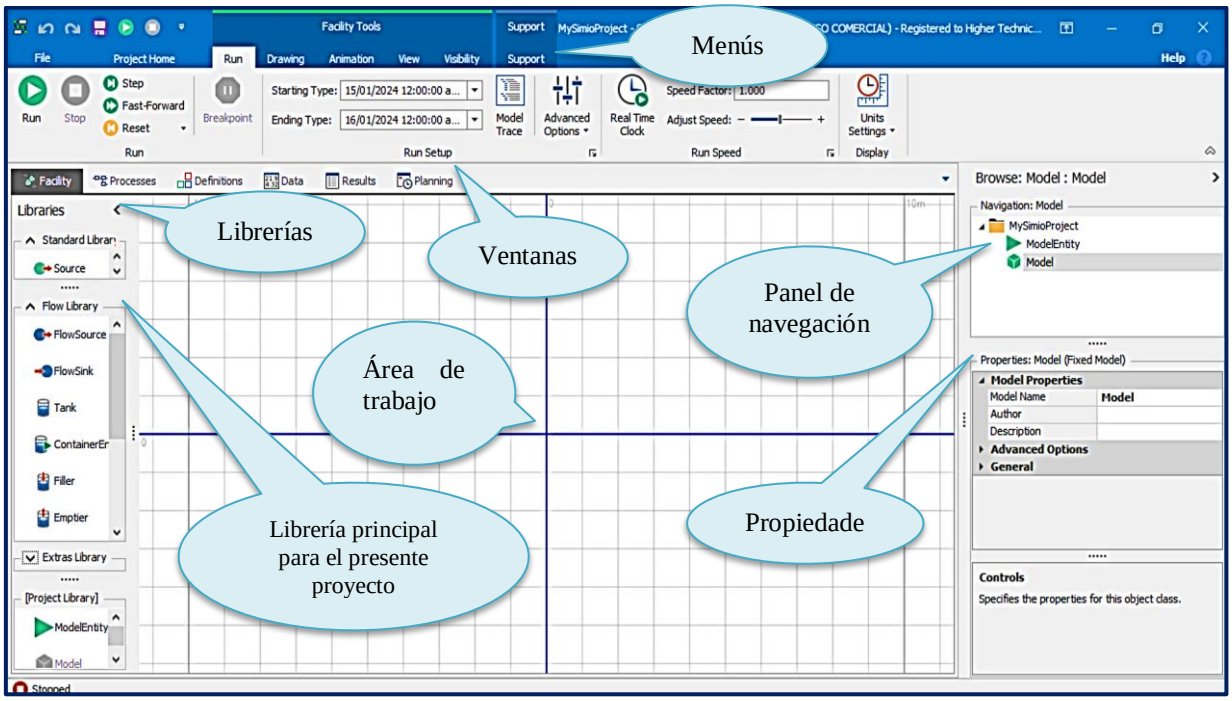


Figura 11 Descripción de la interfaz de SIMIO

En la Figura 11 Descripción de la interfaz de SIMIOFigura 11Figura 11 Descripción de la interfaz de SIMIO se muestra la interfaz de SIMIO® describiendo las partes de la pantalla del software. SIMIO® utiliza objetos para el modelado, a través de los cuales los modelos se crean combinando objetos que representen de manera virtual la realidad. Es decir, un objeto tiene su comportamiento propio, el cual responde a eventos en el sistema, de acuerdo a como lo define su modelo. SIMIO® maneja seis clases básicas de objetos inteligentes, los cuales se presentan a continuación.

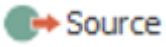
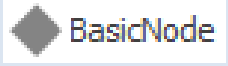
Tabla 5 Tipos de objetos en SIMIO®

Tipo	Derivado de	Descripción
Objeto inteligente	Ninguno	Un objeto base con la capacidad opcional de ser incautado, liberado y seguir un cronograma de disponibilidad.
Fijo	Objeto inteligente	Un objeto fijo tiene una ubicación estacionaria dentro del área de trabajo. Normalmente se utiliza para representar un sistema completo que se está modelando u objetos componentes dentro de un sistema que tienen una ubicación fija.
Agente	Objeto inteligente	Agrega un comportamiento para modelar objetos que se puedan crear y destruir dinámicamente, que pueden moverse en un espacio continuo o en un espacio discreto, y que pueden detectar, perseguir e interceptar otros objetos. Este tipo de modelo es particularmente útil para enfoques de modelado basados en agentes en los que un gran número de agentes que actúan independientemente interactúan para crear el comportamiento general del sistema.
Entidad	Agente	Agrega comportamientos para modelar objetos que pueden seguir un flujo de trabajo en el sistema, incluida la capacidad de usar una red de enlaces para moverse entre objetos, la capacidad de visitar, entrar y salir de ubicaciones dentro de otros objetos a través de nodos y la capacidad de ser objetos recogidos, transportados y dejados por e

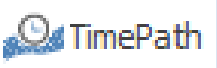
		transportador. Una entidad se puede crear y destruir dinámicamente y puede entrar y salir de objetos fijos, estas también pueden tener múltiples símbolos gráficos.
Transportador	Agente	Es un tipo especia de entidad que pueden recoger objetos de entidad en una ubicación, transportar esa entidad a través de una red de enlaces o espacio libre y luego dejar las entidades en un destino. También tiene la capacidad de salir de una red mientras mantiene la asociación con un nodo de la red (“estacionarse” en un nodo de una red)
Enlace	Objeto inteligente	Agrega comportamientos para modelar objetos fijos que son vías para el movimiento de entidades/transportadores. Este tiene una longitud que puede separarse en ubicaciones igualmente espaciadas, deben tener un nodo inicial y un nodo final y es miembro de una o más redes.
Nodo	Objeto inteligente	Son objetos fijos que son puntos de intersección entre objetos de enlace o puntos de entrada/salida para visitar un objeto. Las entidades pueden ser recogidas/dejadas por un transportador en un nodo. También pueden ampliar/personalizar la lógica de cruce a través de un nodo para modelar el flujo de red y los puntos de recogida/devolución de entidades.

Dentro de los objetos inteligentes que maneja SIMIO®, para la presente tesis se utilizaran de la librería de objetos estándar, la cual contienen 15 objetos prediseñados que se pueden utilizar para modelar una alta gama de sistemas. A continuación, se muestran los objetos utilizados en el modelo simulado, se menciona su nombre, clase, se observa su símbolo y se describe el objeto.

Tabla 6 Librería de objetos estándar de SIMIO®

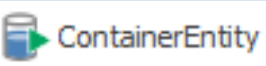
Nombre	Símbolo	Clase	Descripción
Source		Fijo	Crea entidades que llegan al sistema.
Sink		Fijo	Destruye entidades y registra estadísticas.
Server		Fijo	Modela un proceso de servicio multicanal con colas de entrada/salida.
Combiner		Fijo	Combina entidades en lotes.
Separator		Fijo	Separa entidades de lotes.
Vehicle		Transportador	Lleva entidades entre objetos.
Worker		Transportador	Transporta entidades entre objetos fijos y procesa entidades en una ubicación fija.
Basic Node		Nodo	Una simple intersección de enlaces.

Continuación de tabla 6

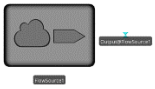
Nombre	Símbolo	Clase	Descripción
Transfer Node		Nodo	Una intersección donde los enlaces establece su destino y esperan a los transportistas.
Connector		Enlace	Una conexión de tiempo cero entre dos nodos.
Path		Enlace	Un camino entre dos nodos donde las entidades viajan en función de la velocidad.
Time Path		Enlace	Un camino entre dos nodos con un tiempo de viaje.
Conveyor		Enlace	Un dispositivo transportador de acumulación/no acumulación.

SIMIO® ha desarrollado una librería de flujo que actualmente cuenta con 10 objetos prediseñados que se pueden utilizar para elaborar un modelo de sistema de procesamiento de flujo. En la Tabla 7 Librería de objetos de flujo, se menciona el nombre de cada uno de los objetos utilizados en la presente tesis, se observa su símbolo, así como la clase de objeto y sus descripciones.

Tabla 7 Librería de objetos de flujo de SIMIO®

Nombre	Símbolo	Clase	Descripción
FlowSource		Fijo	Genera un flujo de fluido u otra masa de un tipo de entidad específico.
FlowSink		Fijo	Destruye entidades de flujo que representan cantidades de fluidos u otra masa que haya terminado de procesarse en el modelo.
Tank		Fijo	Modela una ubicación restringida de capacidad de volumen o peso para contener entidades que representan cantidades de fluidos u otra masa.
ContainerEntity		Entidad	Modela un tipo de contenedor móvil simple, para transportar entidades de flujo que representan cantidades de fluidos u otra masa.
Filler		Fijo	Objeto utilizado para modelar un proceso que llena entidades contenedoras con entidades de flujo que representan cantidades de fluidos u otra masa.
Emptier		Fijo	Objeto utilizado para modelar un proceso que vacía el contenido del flujo de entidades contenedoras.
ItemToFlow Converter		Fijo	Objeto utilizado para modelar un proceso que convierte entidades que representan elementos discretos en entidades de flujo que representan cantidades de fluidos u otras masas.

Continuación de tabla 7

Nombre	Símbolo	Clase	Descripción
FlowToItem Converter		Fijo	Objeto utilizado para modelar un proceso que convierte entidades de flujo que represente cantidades de fluidos u otras masas en entidades que representen elementos discretos.
FlowNode		Nodo	Nodo diseñado para regular el flujo de entidades que representan cantidades de fluido u otra masa.
FlowConnector		Enlace	Una conexión de tiempo cero entre dos FlowNodes.
FlowSource		objeto	se puede utilizar para generar un flujo de fluido u otra masa de un tipo de entidad en específico. De forma predeterminada, la fuente de suministro se considera infinita, pero alternativamente se puede configurar para que se agote si se cumple una condición de parada. Está compuesta por el objeto principal FlowSource más un nodo de salida tipo FlowNode, llamado Output.

En las Tabla 7 y Tabla 7se logra observar los objetos utilizados para el modelo de simulación, así como una breve descripción de cada uno de ellos; en esta se menciona su funcionamiento y modo de utilización; dichos objetos se encuentran en el menú de librería estándar así como en la librería de flujo, haciendo uso de las dos librerías y énfasis en la librería de flujo; dado que

no se cuenta con suficiente información que muestre ejemplos del uso de la librería de flujo, esto se considera un aporte importante en la presente tesis.

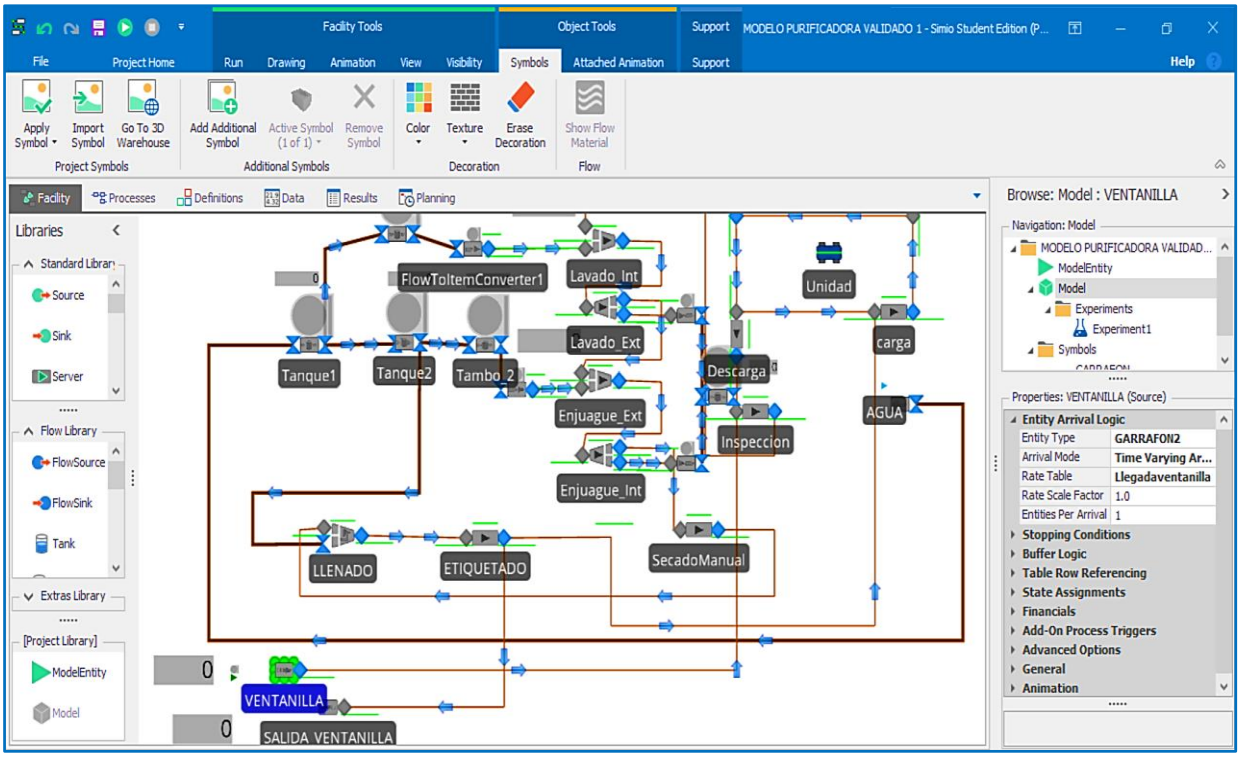


Figura 12 Modelado de la situación actual de la purificadora Puritronic San Román

En la Figura 12 se logra apreciar lo que es el modelo de simulación sin animación, el cual cuenta con los procesos que se describen en el capítulo 3.2.3 Descripción de los procesos. Así mismo se observan los objetos antes descritos en la Tabla 6 Librería de objetos estándar y Tabla 7 Librería de objetos de flujo, los cuales muestran a la unidad (garrafón 1 y 2) simulado por un container entity, el cual es recibido en ventanilla simulada por un source, siguiendo el flujo hacia la inspección, simulada por un server, para continuar con el proceso a lavado interno, el cual es simulado por un combiner, posteriormente lavado externo simulado por un separator, continuando hacia enjuague externo simulado por un combiner, siguiendo hacia enjuague interno simulado nuevamente por un separator, posteriormente continua hacia secado manual, el cual es simulado por un server, para dirigirse al llenado, que es simulado por un filler, una vez lleno, se dirige hacia etiquetado, que es simulado por un server , para dirigirse ya sea a la

entrega en ventanilla simulada por un sink o dirigirse hacia la unidad de reparto, simulada por queue; misma que cuenta con una llegada simulada por un source y una salida simulada por un sink. Para la simulación del flujo de la entidad (garrafón 1 y 2) se utiliza un path y para la simulación del flujo del agua se simula mediante un flowconnector; cabe mencionar que, para llevar a cabo la limpieza interna, el agua debe convertirse en unidades (jícara de agua) de entre 1.5 a 2 litros para dicha conversión, se creo un objeto denominado flowtoitemconverter, el cual se encarga de convertir el flujo en una entidad.



Figura 13 Animación uno de modelo de simulación de la purificadora de agua puritronic San Román

En la Figura 13 se observa parte de lo que es la ambientación o animación del modelo, donde se muestra los garrafones en fila, el tanque, área de etiquetado, cisterna, bomba y los filtros que generan el proceso de purificación de agua, lo que nos da una clara idea de cómo es en la vida real la planta purificadora de agua puritronic San Román.

Una vez que se cuenta con el modelo base, este se debe alimentar con la información del proceso real, es decir, se debe insertar las variables que se ajustaron a las distribuciones del *Stat Fit®*, las cuales se introdujeron seleccionando el objeto que lleva el nombre de cada variable, para el caso de lavado interno, se seleccionó el objeto que simula dicha actividad y en la ventana de lado derecho en el apartado *processing time* se inserta los datos distribución que corresponde a *Beta (0,1.6,17.3,37.9*). De la misma manera se insertan para lavado externo y enjuague externo.

Para las variables aleatorias de enjuague interno, llenado y etiquetado, dado que estas no se ajustan a ningún tipo de variable aleatoria conocida, se realizó por medio de distribuciones empíricas de probabilidad, el procedimiento que se empleado es, el que ofrece SIMIO® para cuando las variables aleatorias no se ajustan; se realiza insertando una tabla, en propiedad del esquema, se asigna propiedad real, en la cual se colocan los 100 datos muestreados, posteriormente en parámetros de entrada, en el apartado de valor de entrada, se asigna el nombre de la tabla, mismo que se pondrá directamente en la variable aleatoria del objeto.

3.3.1 Verificación

La verificación consiste en la comprobación de la lógica del modelo, es decir, de su funcionamiento, para que este replique el del sistema real, que marcha como se proyectó que lo haría; La verificación examina que la traducción del modelo conceptual de simulación (por ejemplo: diagrama de flujo y suposiciones) al programa de computadora sea la correcta y sus datos.

Drop Filter Fields Here

Average	Half Width					Scenario ▾	
						Scenario 1	
Object Type ▲	Object Name ▲	Data Source ▲	Category ▲	Data Item ▲	Statistic ▲	Average	Half Width
ContainerEntity	GARRAFON1	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	9.2213	1.5351
					Maximum	45.3000	4.4614
					Minimum	0.0000	0.0000
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Min...	107.0482	2.7664
					Maximum (Min...	139.1987	4.3230
					Minimum (Min...	77.6786	2.2152
					Observations	110.6000	5.4601
			Throughput	NumberCreated	Total	113.2000	7.4092
				NumberDestroyed	Total	110.6000	5.4601
	GARRAFON2	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	1.3283	0.8583
					Maximum	5.8000	1.9312
					Minimum	0.0000	0.0000
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Min...	12.0540	1.5278
					Maximum (Min...	37.7935	5.5050
					Minimum (Min...	6.6677	0.1410
					Observations	29.2000	3.9150
			Throughput	NumberCreated	Total	32.8000	3.9869
				NumberDestroyed	Total	29.2000	3.9150

Figura 14 Tiempo promedio de espera en el modelo de simulación de Puritronic San Román

Se verifica que el promedio estimado de clientes en ventanilla del modelo base es el mismo que el de la vida real, el tiempo que tardan el garrafón de entrada a salida, se asemeja a la realidad, esto quiere decir que si es un proceso que requiere mejora en los tiempos de limpieza y llenado.

Se evaluó la llegada promedio de clientes, de las cuales algunas esperan un mayor tiempo para poder recibir el garrafón con agua purificada, mismo que coincide con la situación real, en promedio una persona tarda aproximadamente 11 y 15 minutos. En la Figura 14 Tiempo promedio de espera en el modelo de simulación de Puritronic San Román se muestra, que el tiempo promedio de una persona que llega a ventanilla tarda entre 10.5262 y 13.5818 minutos, valores que coinciden con lo que realmente sucede. Cabe mencionar que esta es una de las correcciones principales, debido a que se requiere reducir el tiempo de espera del cliente en ventanilla y unidad de reparto.

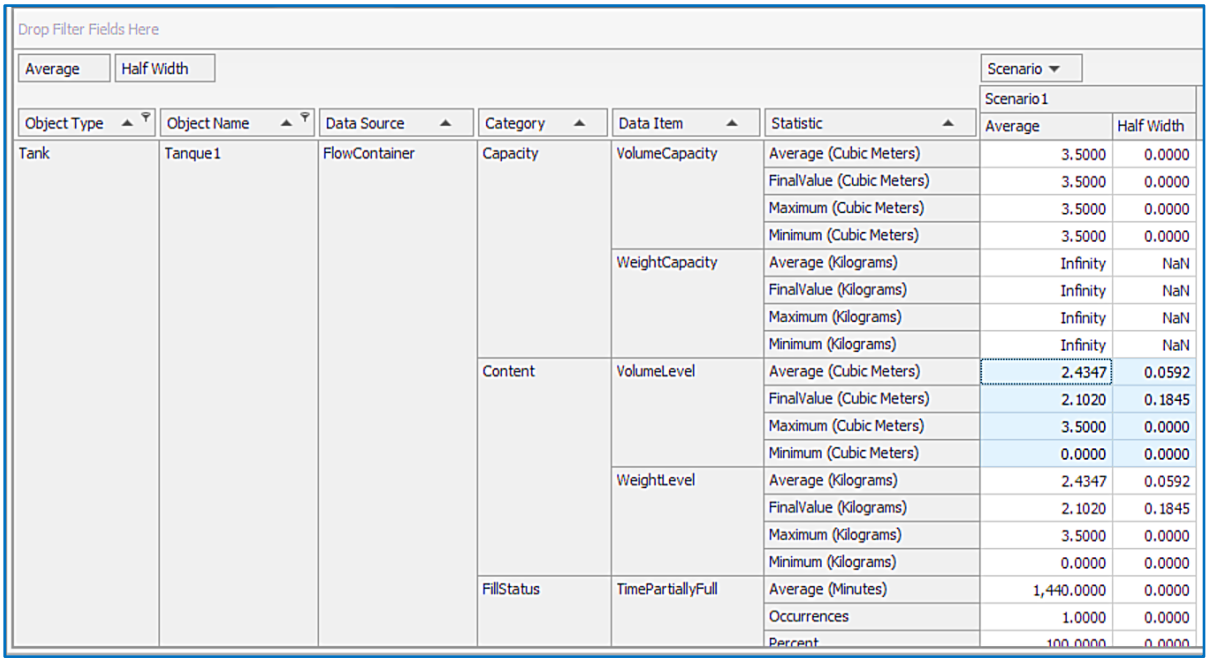
Se verifica que la lógica del modelo es acorde a lo que sucede realmente en la purificadora de agua, observando que en el modelo base que la unidad de reparto realiza 3 vueltas para llevar acabo la carga y el reparto de los garrafones a los clientes, así como la descarga de los mismo en el establecimiento de trabajo.

Average | Half Width | Scenario

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Scenario1 Average	Scenario1 Half Width
Tank	Tank1	FlowContainer	Capacity	VolumeCapacity	Minimum (Cubic Meters)	1.5000	0.0000
				WeightCapacity	Average (Kilograms)	Infinity	NaN
					FinalValue (Kilograms)	Infinity	NaN
					Maximum (Kilograms)	Infinity	NaN
					Minimum (Kilograms)	Infinity	NaN
			Content	VolumeLevel	Average (Cubic Meters)	0.2967	0.0127
					FinalValue (Cubic Meters)	0.5991	0.0245
					Maximum (Cubic Meters)	0.5991	0.0245
					Minimum (Cubic Meters)	0.0000	0.0000
				WeightLevel	Average (Kilograms)	0.2967	0.0127
					FinalValue (Kilograms)	0.5991	0.0245
					Maximum (Kilograms)	0.5991	0.0245
					Minimum (Kilograms)	0.0000	0.0000
			FillStatus	TimeEmpty	Average (Minutes)	492.1172	4.7337
					Occurrences	1.0000	0.0000
					Percent	34.1748	0.3287
					Total (Minutes)	492.1172	4.7337
				TimePartiallyFull	Average (Minutes)	947.8828	4.7337
					Occurrences	1.0000	0.0000

Figura 15 Consumo de agua para limpieza en el modelo de simulación de Puritronic San Román

Así mismo se verifica que, el agua utilizada para llevar a cabo la limpieza interna y externa de los garrafones en el modelo base el consumo es de 599.10 ± .0245 litros como máximo y en promedio 2967.± 0.127 litros lo que se asemeja a la vida real, como se muestra en la Figura 15. Esto quiere decir que no existe mal uso o consumo excesivo del agua, aunque también nos dice que se puede disminuir ese consumo al mejorar el proceso operativo de la limpieza y llenado de garrafones.



Drop Filter Fields Here

Average | Half Width | Scenario

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Scenario 1 Average	Scenario 1 Half Width
Tank	Tanque1	FlowContainer	Capacity	VolumeCapacity	Average (Cubic Meters)	3.5000	0.0000
					FinalValue (Cubic Meters)	3.5000	0.0000
					Maximum (Cubic Meters)	3.5000	0.0000
					Minimum (Cubic Meters)	3.5000	0.0000
				WeightCapacity	Average (Kilograms)	Infinity	NaN
					FinalValue (Kilograms)	Infinity	NaN
					Maximum (Kilograms)	Infinity	NaN
					Minimum (Kilograms)	Infinity	NaN
			Content	VolumeLevel	Average (Cubic Meters)	2.4347	0.0592
					FinalValue (Cubic Meters)	2.1020	0.1845
					Maximum (Cubic Meters)	3.5000	0.0000
					Minimum (Cubic Meters)	0.0000	0.0000
				WeightLevel	Average (Kilograms)	2.4347	0.0592
					FinalValue (Kilograms)	2.1020	0.1845
					Maximum (Kilograms)	3.5000	0.0000
					Minimum (Kilograms)	0.0000	0.0000
			FillStatus	TimePartiallyFull	Average (Minutes)	1,440.0000	0.0000
					Occurrences	1.0000	0.0000
					Percent	100.0000	0.0000

Figura 16 Agua almacenada en el modelo de Puritronic San Román

Se verifica que el tanque 1 de almacenamiento de agua inicia con una capacidad 3,099. litros, se vacía y llena durante la producción y al finalizar la jornada de trabajo el tanque se encuentra con 2,434 ±0 .0592 Litros para el día siguiente como se logra aprecia en la Figura 16Figura 16. El tanque 2 inicia con 1700 litros se vacía y llena durante la producción y al finalizar la jornada de trabajo el tanque cuenta con 1939 litros, lo cual se asemeja a la realidad ya que el proceso no debe quedarse sin agua. Esto quiere decir que si la empresa con visión de crecimiento en ventas, adquiriera nuevos clientes, se podría abastecer a una parte de un mercado nuevo, el cual será analizado en las propuestas del proyecto.

3.3.2 Validación

Uno de los retos más grandes en simulación es determinar si el modelo simulado, es una representación adecuada del sistema que se está estudiando, es decir, si el modelo es válido. Si un modelo de simulación no es válido, entonces las conclusiones derivadas del modelo no serán de utilidad, independientemente del realismo que se logre obtener con la animación del mismo.

Se entiende por validación al proceso de corroborar que el software arroje datos estadísticamente similares al sistema real. Para poder lograr tal efecto se utiliza la prueba t-apareada, la cual confronta los resultados arrojados por la simulación con los datos reales observados.

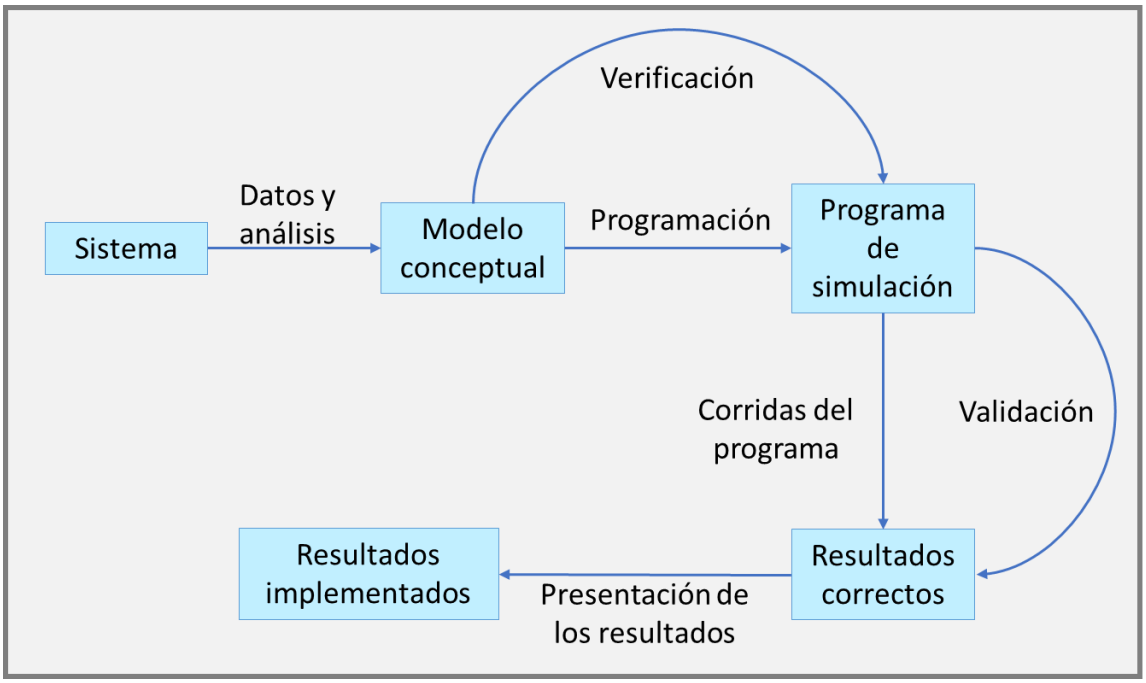


Figura 17 Diagrama de flujo de pasos para validar un modelo de simulación de Puritronic San Román

En la Figura 17 Diagrama de flujo de pasos para validar un modelo de simulaciónFigura 17 observan los pasos a seguir para llevar a cabo la validación del modelo de simulación, para este caso de la purificadora de agua Puritronic San Román. Se procede a medir indicadores y contrastarlos contra los resultados del modelo.

Como primer punto en el software SIMIO® se realiza un experimento de 10 corridas de 10 réplicas, con los datos obtenidos de dicha replica se exporta un Excel, para poder llevar a cabo la validación.

Tabla 8 Promedio de muestras de lavado interno

# de muestra	**Inicio**	**Fin**	Tiempo	Minutos	Promedio
1	10:02:00	10:02:30	00:00:30	0.50	
2	10:02:30	10:02:55	00:00:25	0.42	
3	10:02:55	10:03:14	00:00:19	0.32	
4	10:03:14	10:03:44	00:00:30	0.50	
5	10:03:44	10:04:28	00:00:44	0.73	
6	10:04:28	10:05:13	00:00:45	0.75	
7	10:05:13	10:05:35	00:00:22	0.37	
8	10:05:35	10:05:57	00:00:22	0.37	
9	10:05:57	10:06:18	00:00:21	0.35	Promedio
10	10:06:18	10:06:57	00:00:39	0.65	0.49
11	10:06:57	10:07:26	00:00:29	0.48	
12	10:07:26	10:08:04	00:00:38	0.63	
13	10:08:04	10:08:25	00:00:21	0.35	
14	10:08:25	10:08:44	00:00:19	0.32	
15	10:08:44	10:09:15	00:00:31	0.52	
16	10:09:15	10:09:38	00:00:23	0.38	
17	10:09:38	10:09:59	00:00:21	0.35	
18	10:09:59	10:10:29	00:00:30	0.50	
19	10:10:29	10:10:48	00:00:19	0.32	Promedio
20	10:10:48	10:11:18	00:00:30	0.50	0.43
21	11:00:02	11:00:25	00:00:23	0.38	
22	11:00:25	11:00:48	00:00:23	0.38	
23	11:00:48	11:01:12	00:00:24	0.40	
24	11:01:12	11:01:41	00:00:29	0.48	

Continuación tabla 8

# de muestra	**Inicio**	**Fin**	Tiempo	Minutos	Promedio
25	11:01:41	11:02:01	00:00:20	0.33	
26	11:02:01	11:02:35	00:00:34	0.57	
27	11:02:35	11:03:09	00:00:34	0.57	
28	11:03:09	11:03:38	00:00:29	0.48	
29	11:03:38	11:04:06	00:00:28	0.47	Promedio
30	11:04:06	11:04:32	00:00:26	0.43	0.45

En la Tabla 8 Promedio de muestras de lavado interno, se observa que, de las 10 muestras de 10 datos para cada variable, se obtuvo su promedio, generando así un total de 10 promedios; realizando la misma metodología se determinaron los promedios para las demás variables, que son: lavado externo, enjuague interno y externo, llenado y etiquetado.

3.3.3 Prueba t-apareada

Una vez que se cuenta con los promedios de las muestras, se procede a llevar a cabo la validación, misma que se realiza mediante la prueba t- apareada, por lo que continuación se describe la secuencia de paso, así como las fórmulas utilizadas para llevar a cabo dicha prueba.

De primera instancia se describe el procedimiento estadístico que se utilizó para realizar la comparación datos reales contra los simulados.; considerando que X_1, X_2,.., X_k son observaciones del proceso real y Y_1, Y_2,..., Y_L son datos producidos por el modelo base de simulación, del cual se recolectan *m* conjuntos de datos independientes del sistema y *n* conjuntos de datos del modelo.

Sea X_J el promedio de las observaciones en el j-ésimo conjunto del sistema, y Y_J el promedio de las observaciones en el j-ésimo conjunto de datos del modelo.

Las X_J 's son variables aleatorias IID con media $\mu x = E(X_J)$, y las Y_J 's son variables aleatorias IID (asumiendo que los *n* conjuntos de datos se obtuvieron de replicaciones diferentes) con

media μy = E(Y_J), por lo que se tratará de comparar el modelo con el sistema construyendo un intervalo de confianza para:

$$Z = \mu_x - \mu_y \quad (1)$$

Donde: Para obtener el valor de Z

μ_x = Media de la variable de los datos observados

μ_y = Media de la variable del modelo simulado

Usando la prueba t-apareada (se requiere que m = n).

$$Z_i = x_i - y_i \quad (2)$$

A continuación, se mencionan las fórmulas utilizadas para la determinación de la prueba t-apareada:

$$Zi = x_i - y_i \quad (3)$$

Donde:

Xi=promedios observados de la muestra

Xj =promedio datos simulados de la réplica

$$\bar{Z}_{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Zi}{n} \quad (4)$$

$$\hat{V}ar\left[\bar{Z}_{(n)}\right] = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z_i - \bar{Z}_{(n)}\right]^2}{n(n-1)} \quad (5)$$

El intervalo de confianza es (100(1- α)):

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1,1-\alpha/2}\sqrt{\bar{v}}ar(Z_{(n)} \quad (6)$$

Sea LI(α) y LS(α) el límite de confianza inferior y superior respectivamente. Si 0 ∉ [l (α) , u(α)] entonces la diferencia observada entre μ_x y μ_y:

$$\bar{x}_{(n)} - \bar{Y}_{(n)} \quad (7)$$

Estadísticamente significante al nivel α. Por lo que esto es equivalente a rechazar la hipótesis nula:

Donde: Ho = Hipótesis nula

$$H_0: \mu_x = \mu_y \quad (8)$$

A favor de la alternativa

$$H_1: \mu_x \neq \mu_y \quad (9)$$

Si 0 ∈ [LI(α) , LS(α)], cualquier diferencia observada entre μ_x y μ_y no es estadísticamente significante al nivel "α" y puede ser explicada por fluctuaciones aleatorias, aceptando así que

el modelo es válido, como se muestra a continuación en la Tabla 9Tabla 9 Prueba t-pareada de lavado interno del modelo de simulación de Puritronic San Román Tabla 9.

Tabla 9 Prueba t-pareada de lavado interno del modelo de simulación de Puritronic San Román

No.	Reales	Simulados (Xj)	Zj= Xj-Yj	$(Zj- Z10)^2$
1	0.49	0.501612903	-0.011612903	0.000474661
2	0.43	0.504028777	-0.074028777	0.007090075
3	0.45	0.507482014	-0.057482014	0.00457731
4	0.54	0.499868421	0.040131579	0.000897468
5	0.51	0.508333333	0.001666667	7.23714E-05
6	0.53	0.4928125	0.0371875	0.00072974
7	0.53	0.500880503	0.029119497	0.000358939
8	0.54	0.500576923	0.039423077	0.00085552
9	0.49	0.488680556	0.001319444	7.83997E-05
10	0.61	0.513986014	0.096013986	0.007368537
Promedio			0.010173806	0.02250302

Var=	0.000250034		**LI=**	**-0.02559644**
α=	0.05		**LS=**	**0.045944051**
$t_{n-1,1-a/2}$	2.262157163			

En la Tabla 9Tabla 9 se puede apreciar que el límite inferior es menor a cero y el límite superior es mayor (el intervalo contiene al cero), por lo que se puede decir que el modelo de simulación está representando correctamente el comportamiento de la variable lavado interno, en otras palabras, no hay diferencia entre la realidad y el modelo para esta variable; para el caso de las demás variables aleatorias del proceso, se realizó con la misma metodología, lavado externo, enjuague interno, externo, llenado y sellado. Todo esto se muestra en el Anexo 1. Validación del modelo.

Tabla 10 Validación de las todas las variables del modelo de simulación de Puritronic San Román

	Lavado interno	Lavado Externo	Enjuague Externo	Enjuague Interno	Llenado	Etiquetado
LI=	-0.0255964	-0.0304645	-0.1561351	-0.0054747	-0.0073058	-0.0240983
LS=	0.0459440 5	0.0291859 7	0.1344669 6	0.0056799 1	0.0276391 6	0.0301088 5

A manera de resumen, la tabla 10, presenta los resultados de la validación estadística para el resto de las variables aleatorias del proceso, se puede apreciar que el intervalo contiene al cero, por lo que con un nivel de confianza del 95%, el modelo de simulación está representando correctamente el comportamiento de cada variable.

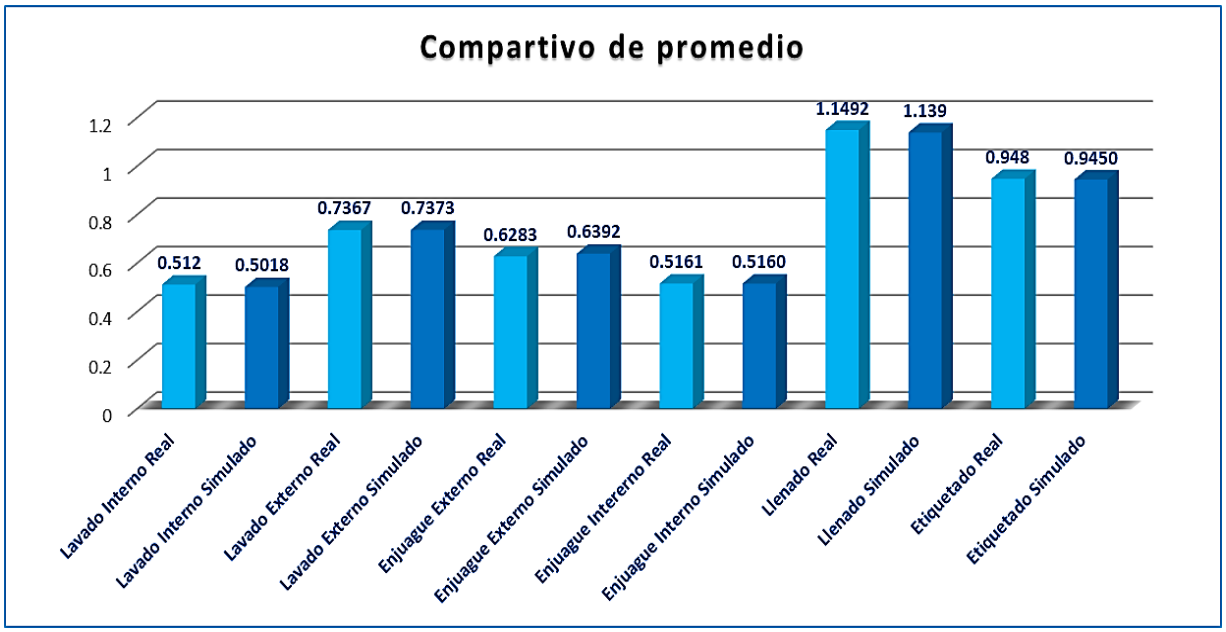


Figura 18 Comparativo de datos reales y simulados de Puritronic San Román

En la Figura 18 se puede apreciar una comparación entre los promedios de todos los datos obtenidos del monitoreo de las variables en una semana normal, en las instalaciones la empresa Puritronic San Román y los datos que se obtuvieron del modelo de simulación en el software SIMIO®, en el cual se generó un experimento de 10 corridas de 10 réplicas, donde se observa la semejanza de los resultados obtenidos; con un azul claro se observan los datos reales y con un azul rey los datos simulados, misma que muestra la comparación entre cada una de las variables analizadas.

3.4 Análisis

Una vez que el modelo, que hace referencia a la situación real está finalizado, se deben realizar corrida de experimentos y crear diversos escenarios con base en los objetivos planteados con anterioridad, con lo cual se pueden comparar y elegir los mejores resultados. El modelo se ejecutó una cantidad determinada de veces (réplicas), modificando las variables requeridas en cada escenario probable. SIMIO® arrojará los resultados con la combinación de variables de cada escenario.

3.4.1 Corridas del programa

A continuación, se hace mención del método para determinar el número de replicaciones requeridas para estimar la media μ = E(x) con un error específico, una vez que el modelo ha sido validado.

Si el estimador $\bar{x}$ es tal que $|\bar{x} - \mu| = \beta$, entonces se dice que $\bar{x}$ tiene un error absoluto β. Se hacen replicaciones de una simulación hasta que la mitad del intervalo de confianza dado por:

$$\bar{x}_n \pm t_{n-1,1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{s^2_{(n)}}{n}} \qquad (10)$$

Es menor o igual que β (donde β >0, y β es el error absoluto el cual es elegido junto con el experto) entonces.

$$1 - \alpha \approx p(\bar{x} - mitad \leq \mu \leq \bar{x} + mitad) \qquad (11)$$

Ordenando los términos se entiende:

$$1 - \alpha \approx p(\bar{x} - mitad \leq mitad \leq p(\bar{x} + \mu) \leq \beta \qquad (12)$$

Por lo que $\bar{x}$ tiene un error absoluto de a lo más β con una probabilidad de aproximadamente 1-α. En otras palabras, si se construyen 100 intervalos de confianza independientes al 90%, es de esperarse que $\bar{x}$ tenga un error absoluto de a lo más β en 90 de los casos; alrededor de 10 intervalos el error absoluto sería mayor a β.

Suponga que se ha construido un intervalo de confianza para μ basado en un número fijo de replicaciones n. Si se asume que el estimador de la varianza poblacional no cambia apreciablemente a medida que el número de replicaciones se incrementa, una expresión aproximada para el número total de replicaciones n(β) requerido para obtener un error absoluto de β es dado por.

$$n * (\beta) = min\left\{ i \geq n : t_{i-1,1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{S^2_{(n)}}{i}} \leq \beta \right\} \qquad (13)$$

Es posible determinar n*(β) incrementando i en uno hasta que un valor de i se obtiene para el cual:

$$t_{i-1,1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{s^2_{(n)}}{i}} \leq \beta \qquad (14)$$

Tabla 11 Numero de corridas de lavado interno de simulación de Puritronic San Román

Replicación	Lavado interno
1	1.146666667
2	1.156666667
3	1.155
4	1.133333333
5	1.146666667
6	1.143333333
7	1.168333333
8	1.161666667
9	1.145
10	1.135

Media	1.149166667
Desviación	0.011201025
varianza	0.000125463
alfa	0.05
beta	0.166666667

		t	$t_{i-1,1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{s^2_{(n)}}{i}}$
10	2.262157163	2.2621572	0.008012731
11		2.2281389	0.007524951
12		2.2009852	0.007116792
13		2.1788128	0.006768712
14		2.1603687	0.006467279
15		2.1447867	0.006202921

En la Tabla 11Tabla 11 se aprecia el resultado obtenido de las ecuaciones que se mencionan en

3.4.1 Corridas del programa, Así mismo en sombreado verde se observa que el número de corridas necesarias para lograr la precisión deseada 10 segundos para la variable aleatoria lavado interno, es de 10. Cabe mencionar que debido a que las variables aleatorias del proceso son realmente de tiempos cortos, considerar una precisión de 10 segundos es un valor prudente para encontrar el valor real del promedio de la variable considerada.

Del mismo modo se determinó el número de corridas para lavado externo, enjuague interno, externo, llenado y sellado, mismo que se muestran en el Anexo 2. Determinación del número de corridas. Es importante mencionar que para todas las variables aleatorias realizar 10 corridas logra la precisión esperada para cada variable.

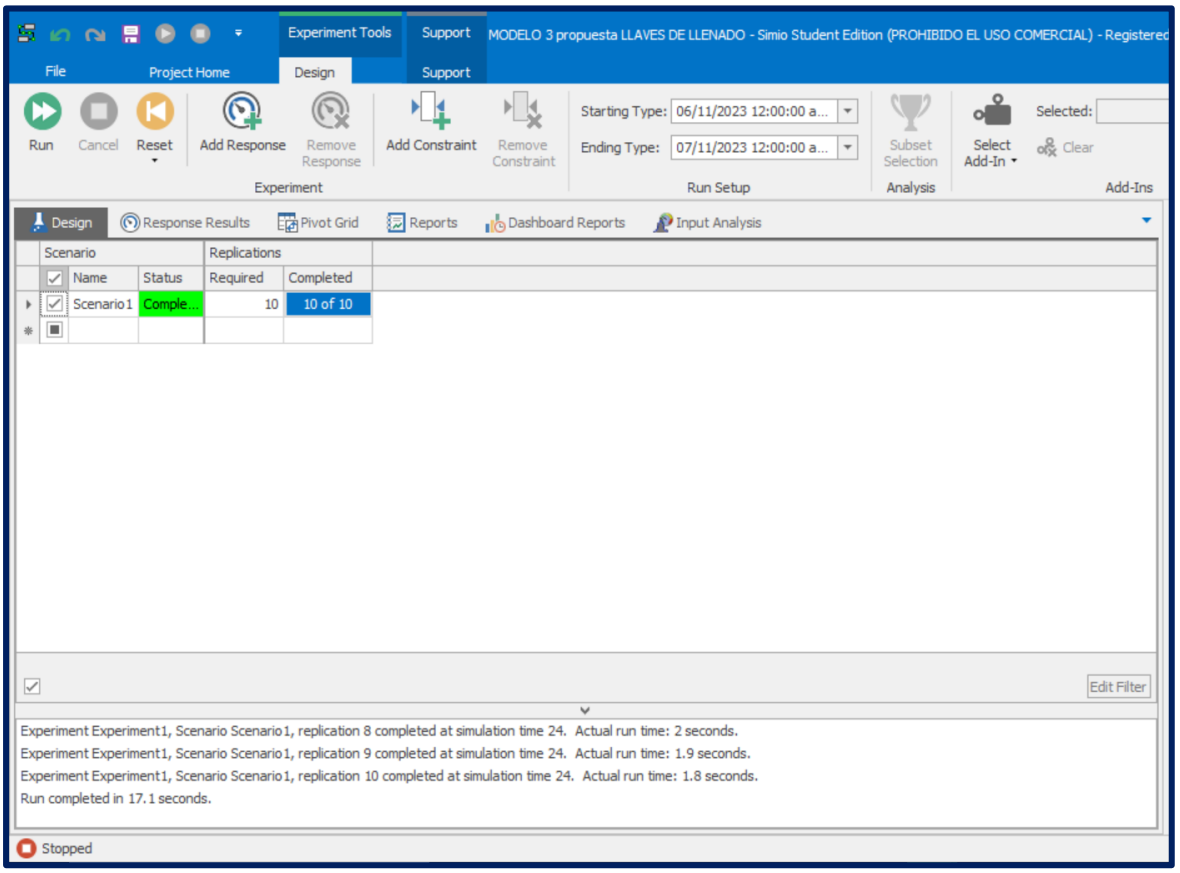


Figura 19 Numero de corridas en el modelo de simulación de Puritronic San Román

En la Figura 19 se logra observar la aplicación del número de réplicas efectuado en el modelo de simulación en el software SIMIO®, de manera que con las 10 réplicas se logra la precisión deseada para cada una de las variables aleatorias del proceso de Puritronic San Román.

Se evaluó y diseñaron propuesta de escenarios que mejoren los indicadores de operación actuales, posterior a ello se documenta y reportan los resultados obtenidos.

Continuando con las propuestas de implementación, las cuales serán evaluadas por el dueño de la empresa, quien decidirá en base a recomendaciones, cuál sería la mejor opción para lograr la mejora del proceso de limpieza y llenado de garrafones.

Se realiza un análisis e interpretación, el cual trata del análisis de la simulación que permite sacar conclusiones referentes a los parámetros de funcionamiento del sistema, así como de las respuestas de salida con respecto a niveles de producción, utilización, tiempos y recursos a utilizar, que permitan responder a los objetivos del estudio.

Para ello se analiza el indicador principal que para el presente proyecto es el tiempo, es decir el tiempo de limpieza y llenado del garrafón y el tiempo de atención al cliente.

Una vez seleccionados los escenarios se procede llevar a cabo la documentación, la cual se ve reflejada en el presente trabajo.

Para finalizar se procede a la implementación, la cual depende de los dueños, ya que en algunos casos requiere inversión.

Los escenarios propuesta, son aquellos en los cuales se va a estudiar el impacto de los posibles cambios; a continuación, se muestran 3 modelos de escenario propuesta para la evaluación y mejora del proceso de llenado de garrafones de una purificadora de agua, mediante la simulación con software SIMIO®.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De primera instancia se menciona que, como antecedente se puede decir que el uso del software SIMIO® permite y facilita la creación de modelos que simulen, con sistemas animados en 3D, permite elaborar una réplica o realidad virtual de un proceso, por ejemplo, líneas de producción, aeropuertos, escuelas o como es el caso del presente trabajo, purificadora de agua. Lo que facilita la evaluación y análisis de la operación cuando se requiere una mejora sin llevar a cabo paros, cambios e inversiones innecesarias.

El software SIMIO® utiliza objetos para modelar o representar componentes del sistema, Se pueden elaborar modelos mediante los objetos que proporciona la librería de objetos estándar, así como la librería de flujo, dicha librería no es muy conocida, ya que no existe mucha información sobre la librería de flujo en artículos y casi no se cuenta con datos que ayuden al uso e interacción de la misma; el presente estudio muestra el uso de la librería de flujo para simular el proceso de una purificadora de agua, en la que se lleva a cabo la simulación de tanques, tuberías, garrafones y parte de lo más importante, es la simulación del flujo del agua, en contraste con Pineda 2019, quien, en su modelo no simula el flujo del agua de coco, únicamente representa el flujo del proceso del traslado del coco como una unidad discreta, utilizando la librería estándar (Pineda, 2019).

En segundo término, como aporte, se puede decir que, en el presente trabajo se describe uno de los muchos usos que se le puede dar a la librería de flujos, así como la descripción de una idea de la interacción de las dos librerías, creando un modelo que sea discreto y continuo a la vez; siendo así el presente trabajo, un base para futuras investigaciones y modelados con el uso de las 2 paqueterías, para generar de igual manera modelos que sean discretos y continuos, un ejemplo de ello puede ser la producción de algún alimento, solo por mencionar un ejemplo.

Para finalizar y como resultado, se muestran 3 modelo escenario propuesta, para la evaluación y mejora del proceso de llenado de garrafones de la purificadora de agua Puritronic San Román, mediante la simulación con software SIMIO®. El primer modelo nos da conocer si la empresa cuenta con la capacidad productiva para expandirse, el segundo modelo propone una reingeniería para el lavado de los garrafones, que sea de forma continua y así agilizar la limpieza y reducir tiempo, el tercer escenario es otra reingeniería en el proceso de llenado de garrafones, de igual manera para agilizar la producción y reducir el tiempo es de espera del cliente en ventanilla; en contaste con Hilen Escobar Castro 2020, quien al realizar reingeniería, únicamente simulo el proceso de forma discreta (Hilén Escobar Castro, 2020) . Cabe mencionar que, de los 3 escenarios propuestos, el segundo ya fue implementado, el tercero se encuentra en cotización.

4.1 Primer Modelo Propuesta

Un primer escenario es, que, en visión de expansión del negocio, es decir incrementar ventas; si se crea una nueva ruta, ¿La empresa será capaz de abastecer el producto en tiempo y forma para así satisfacer al cliente?

En respuesta, el primer escenario nos muestra que la empresa cuenta con la capacidad de agua para unos 125 garrafones en promedio aproximadamente, es decir que si tiene la capacidad para la expansión del negocio.

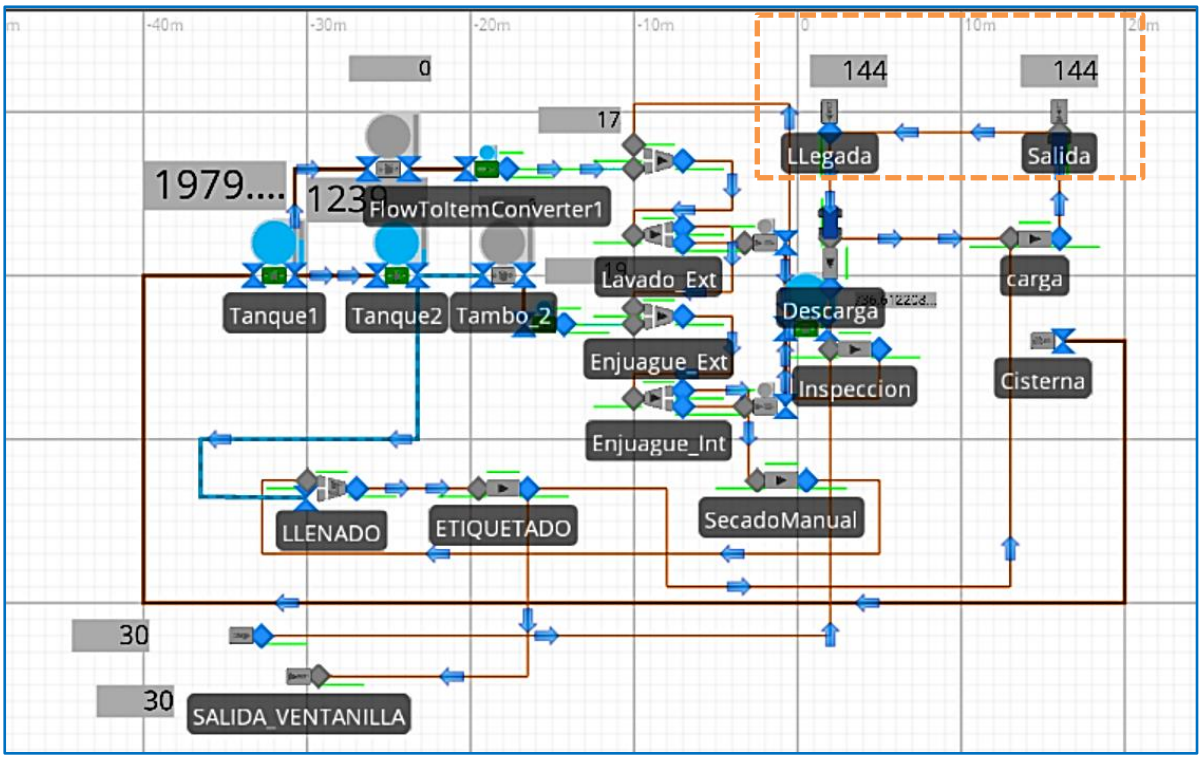


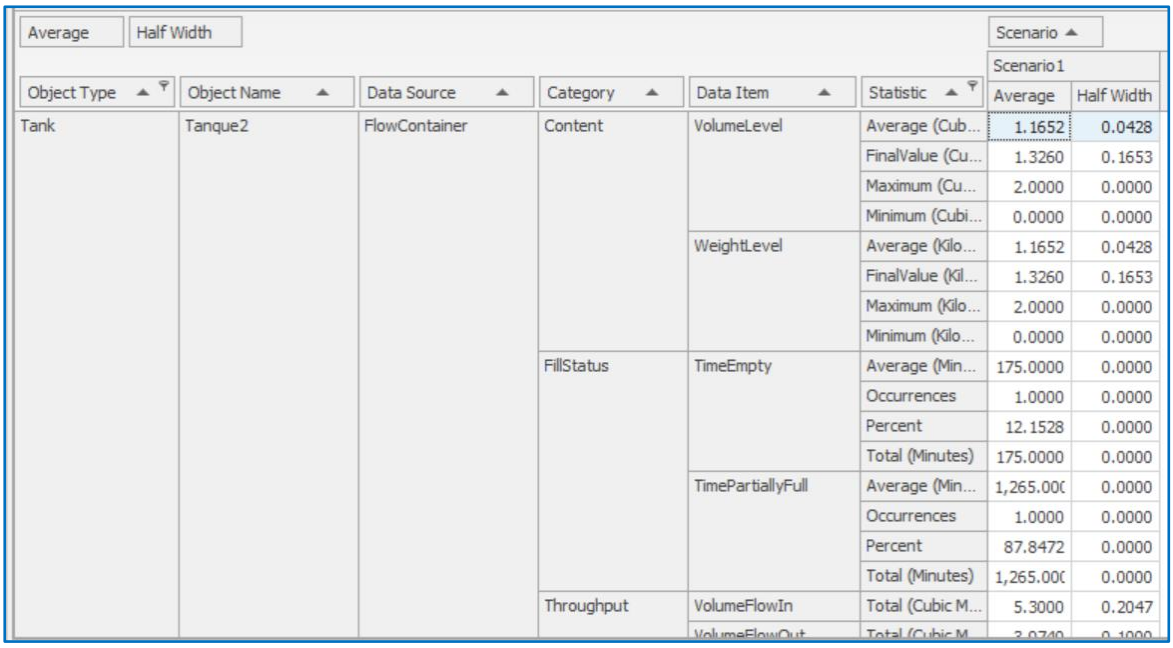
Figura 20 Modelo propuesta de simulación 1 nueva ruta para Puritronic San Román

En la Figura 20 Modelo propuesta de simulación 1 nueva rutaFigura 20 se logra apreciar con un recuadro punteado en color naranja, que aumentó el número de garrafones en la unidad de reparto. Quedando en promedio al final del turno en promedio con un mínimo de 1000 litros y un máximo de 1900 litros de agua purificada; así mismo en promedio 1979 litros de agua cruda, ± 300 litros de agua cruda, lo que quiere decir que aun cuenta con capacidad para dos o tres rutas nuevas. En la primera propuesta de mejora, se asigna prioridad a la limpieza y llenado de garrafones de ventanilla, es decir, que, así como llega deber ser lavado y llenado sin esperar turno, lo que genera disminución de tiempo de espera.

Average	Half Width					Scenario	
						Scenario 1	
Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Half Width
Tank	Tanque1	FlowContainer	Capacity	WeightCapacity	Minimum (Kilo...	Infinity	NaN
			Content	VolumeLevel	Average (Cub...	2.3065	0.1150
					FinalValue (Cu...	2.0000	0.3249
					Maximum (Cu...	3.5000	0.0000
					Minimum (Cubi...	0.0000	0.0000
				WeightLevel	Average (Kilo...	2.3065	0.1150
					FinalValue (Kil...	2.0000	0.3249
					Maximum (Kilo...	3.5000	0.0000
					Minimum (Kilo...	0.0000	0.0000
			FillStatus	TimePartiallyFull	Average (Min...	1,440.00(	0.0000
					Occurrences	1.0000	0.0000
					Percent	100.0000	0.0000
					Total (Minutes)	1,440.00(	0.0000
			Throughput	VolumeFlowIn	Total (Cubic M...	7.7000	0.4524
				VolumeFlowOut	Total (Cubic M...	5.7000	0.2047
				WeightFlowIn	Total (Kilogra...	7.7000	0.4524
				WeightFlowOut	Total (Kilogra...	5.7000	0.2047
	Tanque2	FlowContainer	Capacity	VolumeCapacity	Average (Cub...	3.5000	0.0000
					FinalValue (Cu...	3.5000	0.0000

Figura 21 Agua disponible en tanque 1 de Puritronic San Román

Con las condiciones actuales de la purificadora, cuenta con la capacidad para aperturar nuevas rutas, debido que al modelo propuesta, se le incremento un consumo de 30 garrafones más de lo que actualmente se consume, obteniendo como resultado que aún se cuenta con suficiente líquido vital para más garrafones, aun considerando el agua utilizada en para la realización de la limpieza de los garrafones. En la Figura 21 se observa que a pesar de haber anexado 30 garrafones más a la producción del día, aun se cuenta con un promedio de 2,365 litros ± 115 litros de agua en el taque de almacenamiento 1 que es el agua cruda (para ser purificada).



Average	Half Width					Scenario	
						Scenario1	
Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Half Width
Tank	Tanque2	FlowContainer	Content	VolumeLevel	Average (Cub...	1.1652	0.0428
					FinalValue (Cu...	1.3260	0.1653
					Maximum (Cu...	2.0000	0.0000
					Minimum (Cubi...	0.0000	0.0000
				WeightLevel	Average (Kilo...	1.1652	0.0428
					FinalValue (Kl...	1.3260	0.1653
					Maximum (Kilo...	2.0000	0.0000
					Minimum (Kilo...	0.0000	0.0000
			FillStatus	TimeEmpty	Average (Min...	175.0000	0.0000
					Occurrences	1.0000	0.0000
					Percent	12.1528	0.0000
					Total (Minutes)	175.0000	0.0000
				TimePartiallyFull	Average (Min...	1,265.00(	0.0000
					Occurrences	1.0000	0.0000
					Percent	87.8472	0.0000
					Total (Minutes)	1,265.00(	0.0000
			Throughput	VolumeFlowIn	Total (Cubic M...	5.3000	0.2047
				VolumeFlowOut	Total (Cubic M...	3.0740	0.1000

Figura 22 Agua disponible en tanque 2 de Puritronic San Román

En la Figura 22 se observa que en el tanque de almacenamiento 2 correspondiente a el agua purificada, aun se cuenta con un promedio de 1165 litros ± 428 litros de agua. Lo que nos permite ver, que, aún queda agua suficiente para un incremento de venta de garrafones de agua purificada.

4.2 Segundo Modelo Propuesta

Un segundo escenario con el objetivo de reducción de tiempo de atención al cliente en ventanilla, así como a la unidad de reparto, se propone como mejora, una reingeniería en el área de lavado, dicha reingeniería consiste en colocar un estante para 8 garrafones, para así proceder a lavarlos con el taladro continuamente sin hacer paros de tiempo ni movimientos innecesarios, se podría decir que se lavarían los 8 garrafones de forma casi simultánea.

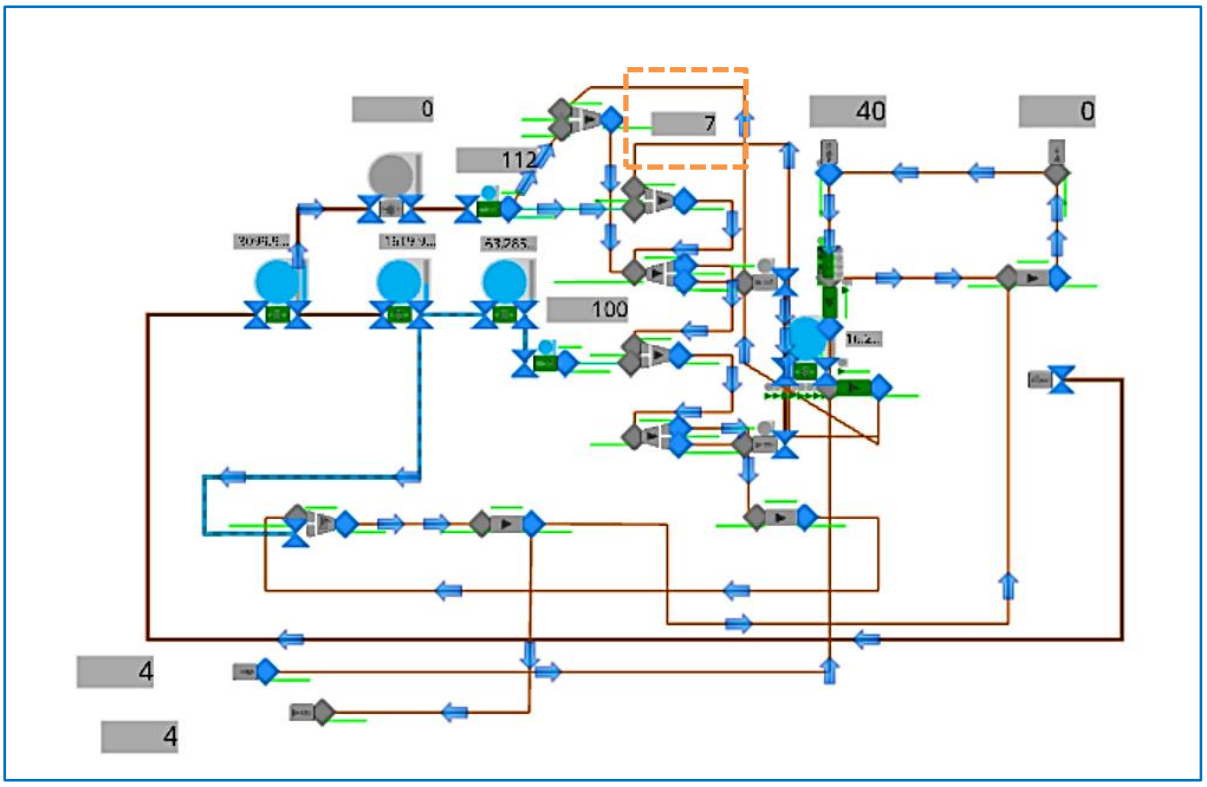


Figura 23 Modelo 2 reingeniería de proceso de limpieza interna de garrafones de Puritrnic San Román

En la Figura 23Figura 23 se observa el modelo propuesto con un recuadro punteado en color naranja, en el cual se muestra la etapa de cambio, en donde actualmente se reciben 8 garrafones para ser lavados se forma continua, sin paros, generando así la minimización del tiempo de limpieza interna del garrafón y mejorando la productividad.



Figura 24 Lavado interno modificado en Puritronic San Román

Reingeniería en el proceso de lavado interno de garrafones: con el objetivo de disminuir el tiempo de espera del cliente en ventanilla, se propone colocar un estante para garrafones y una vez colocada la solución jabonosa, colocar un total de 8 garrafones en el estante para posteriormente se limpiados internamente con ayuda del taladro, realizando la actividad de forma continua, lo que genera disminución en el tiempo que se lleva a cabo la limpieza y a si vez mejora la productividad, debido a que en menor tiempo se realiza la limpieza de 8 garrafones.

En la Figura 24 se observa que se realizó el cambio físico en la empresa y se muestra cómo se colocan los 8 garrafones, mismo que son lavados internamente con el taladro de una forma continua y rápida, lo que genera disminución de tiempo y movimientos, minimizando así el tiempo de limpieza interna del garrafón, aumentando la productividad y disminuye el tiempo de espera del cliente en ventanilla.

Drop Filter Fields Here

Average	Half Width					Scenario	
						Scenario1	
Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Half Width
ContainerEntity	GARRAFON1	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	11.8021	1.5362
					Maximum	44.6000	2.7228
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Min...	117.5177	5.8327
					Maximum (Min...	258.9225	5.6547
					Minimum (Min...	77.1427	5.1010
					Observations	95.7000	5.6429
			Throughput	NumberCreated	Total	106.0000	5.0467
				NumberDestroyed	Total	95.7000	5.6429
	GARRAFON2	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	0.2318	0.2041
					Maximum	3.4000	0.3694
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Min...	5.6876	0.4628
					Maximum (Min...	15.3722	3.1268
					Minimum (Min...	4.5377	0.0302
					Observations	35.5000	4.4384
			Throughput	NumberCreated	Total	35.8000	4.2759
				NumberDestroyed	Total	35.5000	4.4384

Figura 25 Tiempo de limpieza de 8 garrafones

En la Figura 25 Tiempo de limpieza de 8 garrafones Figura 25, sombreado ligeramente en azul, se logra apreciar que, el tiempo de espera, para el garrafón que llega a ventanilla (GARRAFON 2), se redujo considerablemente de 12 minutos a 5.68 minutos ± 46 segundo, lo que permitirá clientes satisfechos, mayor productividad, así como producto disponible para nuevos clientes; así mismo se observa que el tiempo del garrafón de la unidad de reparto también se redujo.

4.3 Tercer Modelo Propuesta

Para finalizar, se plantea un tercer escenario en donde se realiza la propuesta es la colocación de 3 llaves para el proceso de llenado de garrafones.

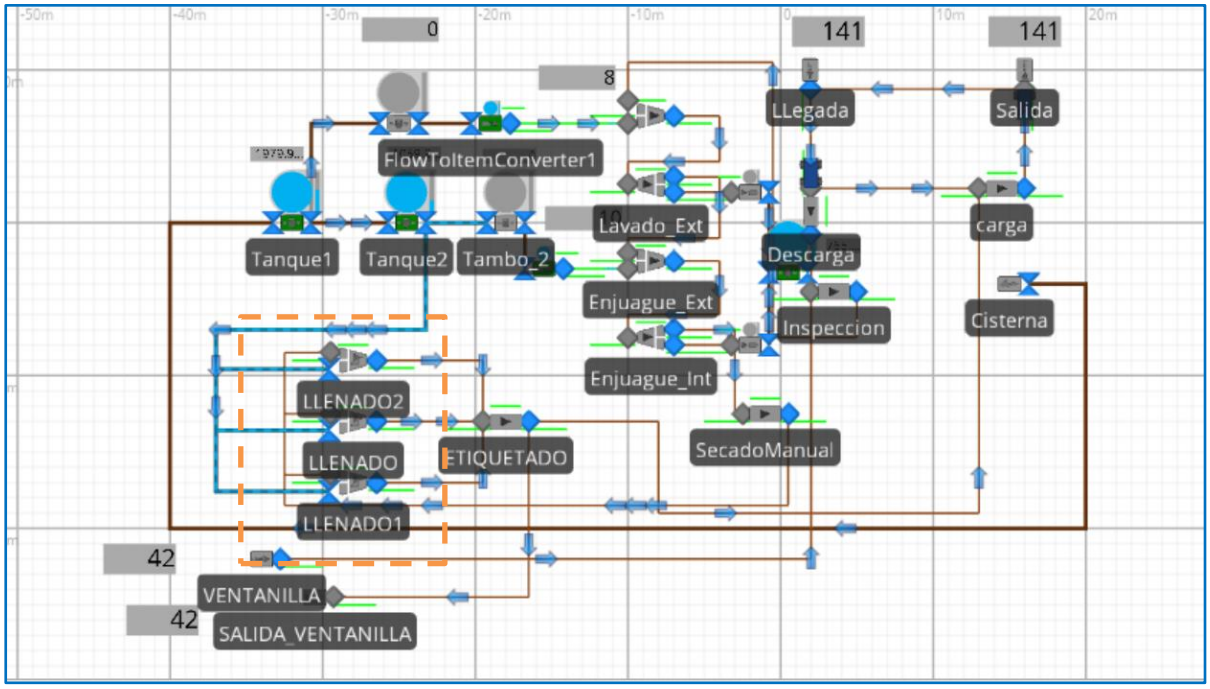
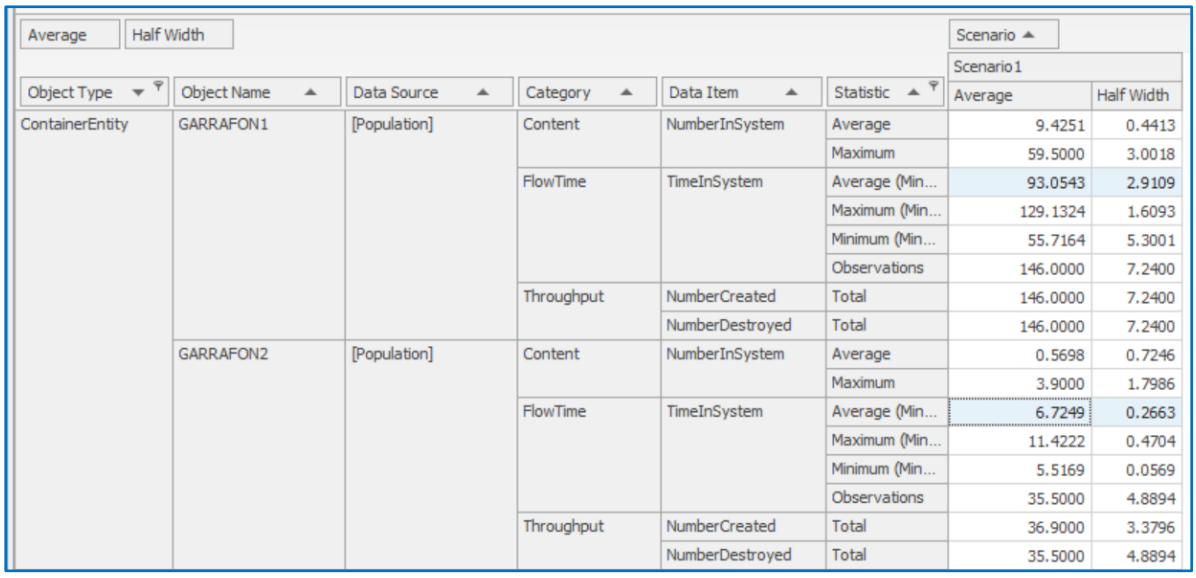


Figura 26 Modelo propuesta 3 agregar llaves para llenado de garrafones en Puritronic San Román

Se propone la colocación de 2 llaves más para el proceso de llenado de garrafones, con la finalidad de agilizar dicho proceso, si en vez de una llave, son 3, se reduce el tiempo de atención y se incrementa la productividad. En la Figura 26Figura 26 se observa el modelo con un recuadro punteado en color naranja, la propuesta de colocar 3 llaves para el proceso de llenado, con esto se agilizaría aún más, la atención al cliente de ventanilla y el surtimiento a la unidad de reparto, mejorando los tiempos de entrega y logrando así una mejor satisfacción del cliente.



Average	Half Width					Scenario	
						Scenario1	
Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Half Width
ContainerEntity	GARRAFON1	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	9.4251	0.4413
					Maximum	59.5000	3.0018
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Min...	93.0543	2.9109
					Maximum (Min...	129.1324	1.6093
					Minimum (Min...	55.7164	5.3001
					Observations	146.0000	7.2400
			Throughput	NumberCreated	Total	146.0000	7.2400
				NumberDestroyed	Total	146.0000	7.2400
	GARRAFON2	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	0.5698	0.7246
					Maximum	3.9000	1.7986
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Min...	6.7249	0.2663
					Maximum (Min...	11.4222	0.4704
					Minimum (Min...	5.5169	0.0569
					Observations	35.5000	4.8894
			Throughput	NumberCreated	Total	36.9000	3.3796
				NumberDestroyed	Total	35.5000	4.8894

Figura 27 Reducción de tiempo en Llenado

En la Figura 27 se logra apreciar que al simular la colocación de 2 llaves más, el proceso de llenado de garrafones, se vuelve más eficiente, evitando así hacer fila y esperar demasiado tiempo; por lo que el tiempo de garrafón 2 (Ventanilla) se reduce en promedio aproximado de de 12 minutos que se observar en el el primer modelo Figura 14 Tiempo promedio de espera en el modelo de simulación de Puritronic San Román a 6.72 minutos ± 26 segundos que se aprecia en este modelo propuesta.

5. CONCLUSIONES

Actualmente se puede decir que el estudio de simulación realizado, fue consistente debido a la cantidad de información que se necesitó conocer para proceder al desarrollo del mismo, por otra parte, el uso de objetos de la librería de flujo en el modelo ha sido enriquecedor, debido a que existe poca información sobre dicha librería, por lo que se considera un aporte importante, ya que se describe uno de los múltiples usos que se le puede dar a la librería de flujo, así como a la interacción de las dos librerías: estándar y flujo, mismo que sirve como base para futuras investigaciones donde se requiera de manejar entidades tanto discretas como continuas, facilitando a futuras tesis que pretendan simular algún proceso alimenticio, los cuales en su mayoría utilizan algún líquido o bien materias primas que se miden por su peso.

El presente estudio logro cumplir el objetivo propuesto al crear un modelo de simulación y evaluar el proceso actual de la purificadora de agua Puritronic San Román, generando escenarios y propuesta de mejora para reducir los tiempos de operación en el proceso de limpieza y llenado de garrafones y a su vez hacer más eficiente el proceso de producción; logrando obtener 3 propuesta para eficientar el proceso, de las cuales se mencionan a continuación:

El primer escenario plantea la posible expansión del negocio, es decir generar nuevas rutas y buscar nuevos clientes, por lo que de acuerdo al modelo propuesta se dice que en promedio al final del turno se cuenta con un mínimo de 1000 litros y un máximo de 1900 litros de agua purificada; así mismo en promedio 1979 litros de agua cruda, ± 300 litros de agua cruda, lo que quiere decir que aun tiene la capacidad para tener un crecimiento comercial de hasta 125 garrafones en promedio por día, tomando en consideración el agua que se utiliza para la limpieza interna y externa de los garrafones.

El segundo escenario con la finalidad de lograr la reducción de tiempo de atención al cliente en ventanilla, así como a la unidad de reparto, la propuesta es una reingeniería en el proceso de lavado interno de garrafones, planteando la colocación de un estante con capacidad de 8 garrafones, para ser lavados internamente de forma continua, sin realizar tanto movimiento innecesario, agilizando así este proceso; de acuerdo al modelo simulado se puede decir que, el tiempo de espera para el garrafón que llega a ventanilla, se redujo considerablemente en

promedio de 12 minutos a 5.68 minutos ± 46 segundo, lo que impacta directamente en la satisfacción de los clientes y mayor productividad, así como producto disponible para nuevos mercados, por otra parte se observa que el tiempo del garrafón de la unidad de reparto también se redujo. Cabe mencionar que esta propuesta fue implementada y que los resultados propuestos por el modelo, se tienen ya en el sistema.

El tercer escenario de igual manera con la finalidad de reducir el tiempo de espera en ventanilla, así como a la unidad de reparto y a su vez hacer más efectivo el proceso de producción, plantea la colocación de dos llaves más para el llenado de garrafones, es decir tres llaves de llenado. De acuerdo al modelo propuesto se puede decir que al colocar dos llaves más, el proceso de llenado se vuelve más eficiente, evitando así hacer fila y esperar demasiado tiempo, por lo que el tiempo de garrafón dos que es el que se recibe en ventanilla, se reduce de 12 minutos de espera a 6.72 minutos ± 26 segundos; logrando así agilizar aún más la atención al cliente de ventanilla y el surtimiento a la unidad de reparto, mejorando los tiempos de entrega y logrando una mejor satisfacción del cliente.

Por lo antes descrito se concluye que, se logró llevar a cabo evaluación y mejora del proceso de llenado de garrafones de la purificadora de agua Puritronic San Román, mediante la simulación con el uso del software SIMIO®, se logra la generación de propuestas que ayuden a mejoramiento del proceso y se logró la reducción del tiempo de limpieza interna del garrafón.

REFERENCIAS

Achkar, V. G., Bär, V., Cornú, F., & Méndez, C. A. (2020). A Simulation-Based Tool to Support Decision-Making in Logistics Design of a Can Packaging Line. *International Journal of Food Engineering*, *16*(5–6). https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0089

Basán, N. P., Cóccola, M. E., & Méndez, C. A. (2015). Conducting experimental design and optimization on an innovative car rental business. *27th European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2015*.

Breznik, M., Buchmeister, B., & Vujica Herzog, N. (2023). Assembly Line Optimization Using MTM Time Standard and Simulation Modeling—A Case Study. *Applied Sciences (Switzerland)*, *13*(10). https://doi.org/10.3390/app13106265

Centobelli, P., Cerchione, R., Murino, T., & Gallo, M. (2016). Layout and material flow optimization in digital factory. *International Journal of Simulation Modelling*, *15*(2). https://doi.org/10.2507/IJSIMM15(2)3.327

CEPAL. (2023). *Desarrollo Industrial*. https://www.cepal.org/es/subtemas/desarrollo-industrial#

Cepeda Rosas, O. M., rozo gutierrez, luz mery, & Moreno Barón, S. G. (2020). Simulación de procesos productivos para la optimización de la productividad en las empresas de la ciudad de Acacías - Meta. *Memorias*, *SE-*.

Coronado-Hernandez, J. R., Ibanez, S. F. U., Gatica, G., & Rodriguez, M. A. (2023). Simulation Model of the Effect of the COVID-19 Biosecurity Protocol in the Queues for the Return to Face-to-Face Classes. *Procedia Computer Science*, *220*. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.123

Geraldes, C. A. S., Setti, F. K., & Almeida, J. P. (2024). Improving the Production Process of a Bakery: A Simulation Approach. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38165-2_16

G. M. Pineda, M. A. P. J. D. P. J. W. S. Z. Y. V. R. E. G. L. O. . (2019). *SIMULACIÓN DE UN PROCESO PRODUCTIVO DEL EMBOTELLADO DE AGUA DE COCO Y DE UNA ALTERNATIVA DE MEJORA*.

Hilén Escobar Castro. (2020). *"Incremento de la productividad de una empresa purificadora de agua usando herramientas de Ingeniería Industrial y simulación en SIMIO®"* [Industrial]. INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TIERRA BLANCA.

IBM. (2020). Simulación de monte carlo. *IBM Cloud Learn Hub*.

Jeffrey Allen Joines, Stephen Dean Roberts, & F. Javier Otamendi. (2010). *Modelización y Simulación: Libro de Prácticas con SIMIO* (1.1).

Kwasiborska, A., & Postół, J. (2021). Modeling of Ground Handling Processes in Simio Software. In *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure: Vol. Part F1391*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70924-2_6

Munasingha, K., & Adikariwattage, V. (2020). Discrete Event Simulation Method to Model Passenger Processing at an International Airport. *MERCon 2020 - 6th International Multidisciplinary Moratuwa Engineering Research Conference, Proceedings*. https://doi.org/10.1109/MERCon50084.2020.9185370

Raúl Coss Bu. (2016). *Simulación un enfoque práctico*. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=iY6dI3E0FNUC&oi=fnd&pg=PA11&dq=libro+que+describa+que+es+la+simulacion&ots=uLV90l1Qbt&sig=afIPhzPj8TQ816I67V-C-NzonIU&redir_esc=y#v=onepage&q=libro%20que%20describa%20que%20es%20la%20simulacion&f=false

Renteria, A., Renteria-Marquez, I. A., & Tseng, T. L. (2021). Supply chain management: A novel approach for risk mitigation to multiple phase-in and phase-out components. *IISE Annual Conference and Expo 2021*.

Sánchez Caimán, P. J. (2007). Simulación y optimización en la logística. *Ciencia y Poder Aéreo*, *2*(1). https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.80

Secretaría de economia. (2018). *Las MiPyME en México: retos y oportunidades*. https://www.inadem.gob.mx/las-mipyme-en-mexico-retos-y-oportunidades/

SIMIO. (2024). *Simio Simulación Software para simulación y planificación de operaciones*.

Soufi, Z., Mestiri, S., David, P., Yahouni, Z., & Fottner, J. (2024). A material handling system modeling framework: a data-driven approach for the generation of discrete-event simulation models. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. https://doi.org/10.1007/s10696-024-09535-z

Valencia, K., Joaqui, L., & Segura, J. (2016). Realidad Virtual En La Industria: Capacitación Del Personal. *Dialnet*.

ANEXOS

Anexo 1. Validación del modelo

Lavado Externo

No.	Reales	Simulados (Xj)	Zj= Xj-Yj	(Z,- Z10)²
1	0.706666667	0.72991935	-0.023252688	0.000511367
2	0.716666667	0.73179856	-0.015131894	0.000210036
3	0.853333333	0.74143885	0.111894484	0.012663846
4	0.691666667	0.72848684	-0.036820175	0.001309058
5	0.738333333	0.73861111	-0.000277778	1.30678E-07
6	0.735	0.7611875	-0.0261875	0.000652712
7	0.713333333	0.72716981	-0.013836478	0.000174166
8	0.743333333	0.74371795	-0.000384615	6.485E-08
9	0.736666667	0.74569444	-0.009027778	7.0367E-05
10	0.731666667	0.72503497	0.006631702	5.28671E-05
Promedio			-0.000639272	0.015644615

Var=	0.000173829
a=	0.05
$t_{n-1,1-a/2}$	2.262157163

LI=	-0.030464513
LS=	0.029185968

Enjuague externo

No.	Reales	Simulados (Xj)	Zj= Xj-Yj	$(Z,- Z10)^2$
1	0.526666667	0.57209677	-0.045430108	0.001196886
2	0.546666667	0.65827338	-0.111606715	0.010155126
3	0.543333333	0.74676259	-0.203429257	0.037092905
4	0.836666667	0.59293706	0.243729604	0.064802665
5	0.533333333	0.6555	-0.122166667	0.012394947
6	1.16	0.70055944	0.459440559	0.221158228
7	0.511666667	0.59795775	-0.08629108	0.00569376
8	0.551666667	0.67683099	-0.125164319	0.013071406
9	0.541666667	0.57631944	-0.034652778	0.000567331
10	0.531666667	0.61443662	-0.082769953	0.005174771
Promedio			-0.010834071	0.371308024

Var=	0.004125645
a=	0.05
$t_{n-1,1-a/2}$	2.262157163

LI=	-0.156135099
LS=	0.134466957

Enjuague interno

No.	Reales	Simulados (Xj)	Zj= Xj-Yj	$(Z,- Z10)^2$
1	0.527777778	0.516693548	0.011084229	0.000120596
2	0.51	0.516235012	-0.006235012	4.01652E-05
3	0.506666667	0.519280575	-0.012613909	0.000161709
4	0.52037037	0.517762238	0.002608133	6.27772E-06
5	0.523333333	0.515190476	0.008142857	6.46458E-05
6	0.516666667	0.514545455	0.002121212	4.07482E-06
7	0.513333333	0.51185446	0.001478873	1.89415E-06
8	0.511666667	0.513638498	-0.001971831	4.30324E-06
9	0.521666667	0.515208333	0.006458333	4.03954E-05
10	0.51	0.520046948	-0.010046948	0.000103013
Promedio			0.000102594	0.000547075

Var=	6.07862E-06
a=	0.05
$t_{n-1,1-a/2}$	2.262157163

LI=	-0.00547472
LS=	0.005679908

Llenado

No.	Reales	Simulados (Xj)	Zj= Xj-Yj	(Z,- Z10)²
1	1.146666667	1.17	-0.023333333	0.00112225
2	1.156666667	1.13	0.026666667	0.00027225
3	1.155	1.13	0.025	0.000220028
4	1.133333333	1.15	-0.016666667	0.000720028
5	1.146666667	1.15	-0.003333333	0.00018225
6	1.143333333	1.13	0.013333333	1.00278E-05
7	1.168333333	1.17	-0.001666667	0.000140028
8	1.161666667	1.1	0.061666667	0.00265225
9	1.145	1.13	0.015	2.33611E-05
10	1.135	1.13	0.005	2.66944E-05
Promedio			0.010166667	0.005369167

Var=	5.96574E-05
a=	0.05
$t_{n-1,1-a/2}$	2.262157163

LI=	-0.00730583
LS=	0.027639163

Etiquetado

No.	Reales	Simulados (Xj)	Zj= Xj-Yj	(Z,- Z10)²
1	0.938333333	0.946854839	-0.008521505	0.000132867
2	0.926666667	0.94028777	-0.013621103	0.000276437
3	0.925	0.94323741	-0.01823741	0.000451252
4	0.933333333	0.945454545	-0.012121212	0.000228811
5	0.951666667	0.941857143	0.009809524	4.62977E-05
6	0.951666667	0.96013986	-0.008473193	0.000131755
7	0.956666667	0.936760563	0.019906103	0.000285638
8	0.931666667	0.951126761	-0.019460094	0.000504693
9	0.926666667	0.949791667	-0.023125	0.000682792
10	1.038333333	0.93443662	0.103896714	0.010179081
Promedio			0.003005282	0.012919623

Var=	0.000143551
a=	0.05
$t_{n-1,1-a/2}$	2.262157163

LI=	-0.024098284
LS=	0.030108848

Anexo 2. Determinación del número de corridas

Lavado externo

Replicación	Lavado interno
1	0.526666667
2	0.546666667
3	0.543333333
4	0.836666667
5	0.533333333
6	1.16
7	0.511666667
8	0.551666667
9	0.541666667
10	0.531666667

Media	0.62833333
Desviación	0.20967494
varianza	0.04396358
alfa	0.05
beta	0.16666667

$$t_{i-1,1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{s^2_{(n)}}{i}}$$

		t	
10	2.262157163	2.26215716	0.149992416
11		2.22813885	0.140861541
12		2.20098516	0.133221101
13		2.17881283	0.126705298
14		2.16036866	0.121062706
15		2.14478669	0.116114111

Enjuague Externo

Replicación	Lavado interno
1	0.53
2	0.51
3	0.506666667
4	0.52037037
5	0.523333333
6	0.516666667
7	0.513333333
8	0.511666667
9	0.521666667
10	0.51

Media	0.51637037
Desviacion	0.007341372
varianza	5.38957E-05
alfa	0.05
beta	0.166666667

		t	$t_{i-1,1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{s^2_{(n)}}{i}}$
10	2.262157163	2.2621572	0.005251701
11		2.2281389	0.004932001
12		2.2009852	0.004664485
13		2.1788128	0.004436347
14		2.1603687	0.004238782
15		2.1447867	0.004065516

Enjuague Interno

Replicación	Lavado interno
1	0.53
2	0.51
3	0.506666667
4	0.52037037
5	0.523333333
6	0.516666667
7	0.513333333
8	0.511666667
9	0.521666667
10	0.51

Media	0.51637037
Desviacion	0.007341372
varianza	5.38957E-05
alfa	0.05
beta	0.166666667

		t	$t_{i-1,1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{s^2_{(n)}}{i}}$
10	2.262157163	2.2621572	0.005251701
11		2.2281389	0.004932001
12		2.2009852	0.004664485
13		2.1788128	0.004436347
14		2.1603687	0.004238782
15		2.1447867	0.004065516

Llenado

Replicación	Lavado interno
1	1.146666667
2	1.156666667
3	1.155
4	1.133333333
5	1.146666667
6	1.143333333
7	1.168333333
8	1.161666667
9	1.145
10	1.135

Media	1.149166667
Desviacion	0.011201025
varianza	0.000125463
alfa	0.05
beta	0.166666667

$$t_{i-1,1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{s^2_{(n)}}{i}}$$

		t	
10	2.262157163	2.2621572	0.008012731
11		2.2281389	0.007524951
12		2.2009852	0.007116792
13		2.1788128	0.006768712
14		2.1603687	0.006467279
15		2.1447867	0.006202921

Etiquetado

Replicación	Lavado interno
1	0.938333333
2	0.926666667
3	0.925
4	0.933333333
5	0.951666667
6	0.951666667
7	0.956666667
8	0.931666667
9	0.926666667
10	1.038333333

Media	0.948
Desviacion	0.033791298
varianza	0.001141852
alfa	0.05
beta	0.166666667

		t	$t_{i-1,1-\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{S^2_{(n)}}{i}}$
10	2.262157163	2.2621572	0.024172839
11		2.2281389	0.022701303
12		2.2009852	0.021469967
13		2.1788128	0.020419877
14		2.1603687	0.019510515
15		2.1447867	0.018712997