



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE HUATUSCO**

**“SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN ETAPAS DE
ENFRIADO-HIDRATADO DEL PROCESADO DEL POLLO MEDIANTE
SIMULACION CON SOFTWARE SIMIO”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. JUAN CARLOS DAMIAN DE AQUINO

DIRECTORA DE TRABAJO RECEPTACIONAL

DR. LUIS ANTONIO CALDERON PALOMARES

CO- DIRECTOR DE TRABAJO RECEPTACIONAL

MTRO. MIGUEL ÁNGEL SOLIS JIMÉNEZ

HUATUSCO, VER.

FEBRERO 2025

RECONOCIMIENTOS

Mi familia:

Les agradezco a mis padres el apoyo dado durante todo el tiempo para poder desarrollar este proyecto, la cual con mucho trabajo, esfuerzo y dedicación pudimos lograr el objetivo. A mis hermosas, hijas y mi esposa en especial, por ser un pilar fundamental, para poder realizar mis estudios de posgrado, la cual reconozco y agradezco todo su esfuerzo, apoyó, comprensión durante este tiempo.

A mis maestros:

Agradezco a mi director de tesis: por su invaluable respaldo y apoyo en la elaboración de este proyecto, al TecNM por haberme brindado la oportunidad de poder estudiar la maestría en el campus, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, a todos y cada uno de los docentes, compañeros, amigos que siempre me brindaron el apoyo, durante la estancia dentro la institución.

RESUMEN

Actualmente el consumo de agua en los procesos del pollo del día en las etapas de enfriado-hidratado es preocupante en la empresa bajo estudio, ya que actualmente no hay un método para poder reutilizar el agua con la que se enfrían las aves.

El presente proyecto se enfocará en el análisis y evaluación del consumo de agua para desarrollar una propuesta de diseño de un sistema de recirculación de agua en las etapas de enfriado-hidratado del pollo con un intercambiador de calor (chiller). Este sistema permitirá reducir el consumo de agua e impactará positivamente en los indicadores de operación, además, permitirá reducir costos, tiempo de reposo en las etapas de enfriado e hidratado y mayor vida de anaquel del producto.

En el capítulo uno se presenta la descripción del uso del agua y la importancia del agua dentro de la producción avícola, así mismo los efectos del enfriado y la hidratación en la calidad del producto y las tecnologías actuales de optimización de recurso hídrico en la industria alimentaria.

En el capítulo dos, se aborda la teoría que sustentan el planteamiento del presente trabajo, así mismo como la utilización de SIMIO en la optimización de los recursos, características y capacidades del software, sus ventajas y desventajas, los antecedentes del software de simulación y su tecnología, la simulación de procesos industriales y la descripción de la metodología que se utilizó.

En el capítulo tres, se describe la aplicación de la metodología de simulación propuesta por Law y Kelton (2011), la cual muestra el tratamiento estadístico de los datos recabados en la medición y recolección de datos de consumo de agua en la etapa de enfriado-hidratado, se definió el modelo de simulación y se construyó, para posteriormente realizar la validación del mismo y ejecutarlo. Para concluir con los resultados obtenidos de la simulación.

Finalmente, se pueden encontrar las referencias bibliográficas que sustentan el trabajo realizado.

ABSTRACT

Currently, the consumption of water in the processes of the chicken of the day in the cooling-hydrated stages is worrying in the company under study, since there is currently no method to reuse the water with which the birds are cooled.

This project will focus on the analysis and evaluation of water consumption to develop a design proposal for a water recirculation system in the cooling-hydrated stages of chicken with a heat exchanger (chiller). This system will reduce water consumption and will have a positive impact on operating indicators, in addition, it will reduce costs, resting time in the cooling and hydration stages and longer shelf life of the product.

Chapter one presents the description of water use and the importance of water within poultry production, as well as the effects of cooling and hydration on quality of the product and current technologies for optimising water resources in the food industry.

In chapter two, the theory that supports the approach of this work is addressed, as well as the use of SIMIO in the optimization of resources, characteristics and capabilities of the software, its advantages and disadvantages, the background of the simulation software and its technology, the simulation of industrial processes and the description of the methodology that was used.

In chapter three, the application of the simulation methodology proposed by Law and Kelton (2011) is described, which shows the statistical treatment of the data collected in the measurement and collection of water consumption data in the cooling stage. hydrated, the simulation model was defined and built, to later validate it and execute it. To conclude with the results obtained from the simulation.

Finally, you can find the bibliographic references that support the work carried out.

ÍNDICE

GLOSARIO	vi
INTRODUCCIÓN	vii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	viii
JUSTIFICACIÓN	ix
HIPÓTESIS	x
OBJETIVOS	x
OBJETIVO GENERAL	x
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	x
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	1
2.1. Uso de agua en la industria avícola	1
1.1.1. Importancia del agua en la producción avícola	1
2.2. Procesos de enfriado-hidratado en el procesamiento de pollo	1
2.2.1. Descripción del proceso de enfriado-hidratado	1
2.2.2. Efectos del enfriado-hidratado en la calidad del producto	1
1.3. Tecnologías actuales de optimización de recursos hídricos en la industria alimentaria	1
1.3.1. Sistemas de recirculación de agua en el procesamiento avícola	1
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	1
2.1. Simulación de procesos industriales mediante software	1
2.1.1. Introducción a la simulación de procesos en la industria	1
2.2. Aplicaciones de SIMIO en la optimización de recursos	1
2.2.1. Características y capacidades del software SIMIO	1
2.2.2. Casos de éxito de la aplicación de SIMIO en la industria	1
2.3. Revisiones bibliográficas sobre la optimización del consumo de agua en el procesado del pollo	1

2.3.1. Revisión de estudios previos sobre optimización hídrica en la industria avícola	2.3.2.
Comparación de enfoques y tecnologías utilizadas en la optimización del agua	1
CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	2
3. Aplicación de la metodología	2
3.1. Formulación del problema	2
3.2. Recolección de datos y definición del modelo	2
3.2.1 Formato de recolección de datos	2
3.2.2 Recolección y medición de datos cuantitativos durante cuatro meses del consumo de agua	2
3.2.3 Determinación de variables de entrada y salida del sistema de recirculación.	2
3.2.4 Definición del modelo	2
3.3 Verificación del modelo	2
3.4 Construcción del programa	2
3.5 Realización de pruebas piloto	2
3.6 Validación del programa	2
3.7 Corrida del programa	2
3.8 Análisis de resultados	2
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	2
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	
REFERENCIAS	4

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos de consumo de agua agosto	25
Tabla 2 Datos de consumo de agua septiembre	26
Tabla 3 Datos de consumo de agua octubre	27
Tabla 4 Datos de consumo de agua noviembre	28
Tabla 5 Datos generales de consumo de agua	29
Tabla 6 Parámetros de entrada y salida	29
Tabla 7 Elementos del sistema a simular	31
Tabla 8 Resultados de simulación en diferente unidad de tiempo	47
Tabla 9 Datos apareados del tiempo de recirculación en diez días	50
Tabla 10 Comprobación de los datos apareados en diez días con Excel	51
Tabla 11 Datos apareados del tiempo de recirculación en treinta días.	52
Tabla 12 Comprobación de los datos apareados de treinta días con Excel	53
Tabla 13 Datos apareados del tiempo de recirculación en noventa días.	54
Tabla 14 Comprobación de los datos apareados de noventa días con Excel	55
Tabla 15 Datos apareados del tiempo de recirculación ciento ochenta días.	56
Tabla 16 Comprobación de los datos apareados de noventa días con Excel	57
Tabla 17 Datos apareados del tiempo de recirculación de treientos sesenta días Excel	58
Tabla 18 Comprobación de los datos apareados de treientos sesenta días con Excel	59
Tabla 19 Datos simulados del tiempo desperdicio de agua	66
Tabla 20 Calculo del número de replicas optimas	67
Tabla 21 Comparación de los tiempos promedio reales y simulados de las operaciones analizadas del proceso	74
Tabla 22 Perdida económica por desecho de agua anualmente	77
Tabla 23 Tabla de gasto y ahorro /simulado vs real	77
Tabla 24 Tabla de retorno de inversión de implementación del modelo	78

INTRODUCCIÓN

La industria avícola es uno de los sectores más importantes dentro de la producción mundial de alimentos, responsable de suministrar una parte importante de las proteínas animales que se consumen en todo el mundo. Sin embargo, este sector también enfrenta grandes desafíos relacionados con el consumo de recursos naturales, en particular el agua. Dentro del flujo de trabajo de procesamiento de pollo, una de las etapas que más agua consume es el enfriamiento e hidratación de las carcasas de pollo, un paso crítico para garantizar la seguridad y la calidad del producto final (El Sabry et al., 2023). A lo largo de los años, se han implementado diversas tecnologías y procesos para reducir el consumo de agua y mejorar la eficiencia de los recursos, pero los desafíos persisten, especialmente ante la creciente presión por la sostenibilidad ambiental y la optimización de los costos operativos (Gržinić et al., 2023).

El proceso de refrigeración e hidratación es una de las fases más significativas del proceso de transformación de las aves, dado que es la etapa donde se disminuye la temperatura del pollo para asegurar la seguridad del producto. No obstante, es conocido que este procedimiento demanda un elevado uso de agua. La dificultad reside en que, pese a los progresos en la industria, aún se emplea de forma ineficaz, lo que repercute significativamente en los costos de producción y la huella de agua en las instalaciones de procesamiento (Kleyn & Ciacciariello, 2021). Además, una gestión inadecuada de las aguas residuales generadas puede derivar en problemas de contaminación y daños a los cuerpos de agua cercanos a las instalaciones industriales. Ante esta situación, la necesidad de encontrar soluciones para optimizar el uso del agua en estas etapas del proceso se ha convertido en una prioridad tanto para la industria como para los organismos reguladores (Vandana et al., 2021).

Una vez procesadas, las aves se colocan en tinas plásticas con capacidad de agua de 1.8 m^3 , por lo que para garantizar el correcto enfriado e hidratado tiene que permanecer en una estadía de 40 a 45 min, una vez culminado el tiempo de estadía, se tiene que reponer el agua, una vez que este paso de 22°C a 35°C , para poder seguir con el proceso de enfriado, se tiene que reemplazar el agua que llegó a la temperatura de 35°C , por agua con una temperatura de 20°C para poder seguir con el proceso de enfriado, desechando por tina 1.5 m^3 de agua, esto para poder solventar un proceso de producción 7500-8000 aves por proceso, para poder realizar una producción de acuerdo a la cantidad mencionada se requieren una cantidad entre 35 m^3 y 40 m^3 por día para solventar la producción teniendo en cuenta que el 80% de agua que se utiliza es para el proceso.

El presente trabajo tiene como objetivo medir, a través de simulación en SIMIO, el impacto de aplicación de herramientas de ingeniería en la mejora continua en cada uno de los procesos productivos, durante el estudio de este trabajo, se analizará una propuesta de diseño de recirculación de agua en la etapa de enfriado -hidratado de las aves, del procesamiento avícola.

La simulación de procesos industriales se ha convertido en una herramienta valiosa para la optimización de recursos en diversas industrias. En este contexto, el software SIMIO ha demostrado su capacidad para modelar y analizar sistemas de producción complejos, permitiendo evaluar diferentes escenarios operativos sin necesidad de interrumpir el proceso real (García Márquez Bazaldúa, 2023). La simulación aplicada a la etapa de enfriamiento-hidratación del procesamiento de pollos puede ofrecer una visión clara de las oportunidades para reducir el consumo de agua, identificar inefficiencias y proponer mejoras sin comprometer la calidad del producto. Al optimizar los recursos hídricos mediante simulación, es posible lograr una gestión hídrica más sostenible, reducir los costos operativos y disminuir el impacto ambiental asociado al uso intensivo del agua.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Pese a los progresos tecnológicos, la industria avícola continúa lidiando con grandes retos en relación al empleo eficaz del agua durante las fases de refrigeración e hidratación. Los sistemas de refrigeración convencionales necesitan grandes cantidades de agua para garantizar que las canales de pollo lleguen a las temperaturas idóneas para su preservación. No obstante, estos sistemas se caracterizan por su ineficiencia, principalmente por la ausencia de un control exacto sobre el flujo y la temperatura del agua empleada. Además, la fluctuación en la producción y la imposibilidad de ajustar los sistemas a las variaciones en la demanda de producción complican aún más la puesta en marcha de soluciones eficaces. Los sistemas de control convencionales no brindan la flexibilidad necesaria ni la habilidad para adaptarse a las circunstancias dinámicas del procedimiento.

El uso excesivo de agua en el proceso de enfriado-hidratado no solo genera preocupaciones desde el punto de vista económico, sino que también tiene un impacto considerable en el medio ambiente. A nivel económico, los costos asociados a la extracción, tratamiento y disposición del agua utilizada en las plantas procesadoras son significativos, y cualquier ineficiencia en su uso puede afectar negativamente la rentabilidad de las operaciones. Por otro lado, el impacto ambiental de la sobreexplotación de recursos hídricos y la generación de grandes volúmenes de aguas residuales es cada vez más crítico. La gestión inadecuada de estos recursos puede llevar a la degradación de los ecosistemas acuáticos y a la contaminación de fuentes de agua cercanas, lo cual, a su vez, puede derivar en sanciones regulatorias y pérdida de reputación para las empresas.

JUSTIFICACIÓN

La optimización del uso del agua es una necesidad urgente en la industria avícola. El aumento de la demanda global de alimentos y la escasez de recursos naturales, especialmente el agua, exigen que los procesos productivos sean más eficientes y sostenibles. La reducción del consumo de agua en las plantas procesadoras no solo permitirá un ahorro económico considerable, sino que también contribuirá a una operación más responsable desde el punto de vista ambiental. La implementación de tecnologías que permitan un uso más eficiente de este recurso es clave para asegurar la viabilidad futura de la industria (FAO, 2013).

La simulación a través de programas como SIMIO proporciona una respuesta eficaz para enfrentar los retos asociados al consumo de agua durante el proceso de refrigeración e hidratación del pollo. Esta tecnología ofrece las ventajas de examinar el flujo de agua en distintas fases del proceso, detectar zonas de mejora y sugerir soluciones que disminuyan el consumo sin afectar la calidad del producto. Además, la simulación posibilita el examen de diversos escenarios operativos, lo que simplifica la realización de decisiones fundamentadas para la mejora del proceso. La disminución del uso de agua a través de la simulación no solo puede resultar en un ahorro financiero, sino también en la reducción del impacto ambiental de las actividades avícolas.

HIPÓTESIS

Mediante una propuesta de diseño en el sistema de recirculación de agua en las etapas de enfriado-hidratado del pollo con un intercambiador de calor (chiller). Se reducirá el consumo de agua e impactará positivamente en los indicadores de costos por consumo de agua. Además,

permitirá reducir costos, tiempo de estadía del producto en las etapas de enfriado e hidratado y tendrá mayor vida de anaquel del producto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Optimizar el consumo de agua en el proceso de enfriado-hidratado del pollo, mediante la propuesta de mejora del sistema de recirculación de agua, utilizando simulación con el software SIMIO, para reducir el uso de agua, mejorar la eficiencia del proceso y minimizar el impacto ambiental.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los resultados obtenidos a través de la simulación de un sistema de enfriado-hidratado en la industria avícola utilizando el software SIMIO, comparando la eficiencia del consumo de agua respecto a métodos tradicionales.
- Reducir el consumo de agua en la etapa de enfriado-hidratado para ahorrar hasta un 25% - 30% de consumo.
- Generar un impacto positivo al medio ambiente optimizando y reutilizando el agua del proceso en un promedio de 15 m³ – 20 m³ por día.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1. Uso de agua en la industria avícola

La utilización eficaz del agua en el sector avícola es esencial no sólo para asegurar la seguridad y la calidad del producto, sino también para resistir las presiones regulatorias y ambientales

crecientes que el sector está experimentando. A escala mundial, la industria de la avicultura demanda una considerable cantidad de agua debido a los múltiples procesos que necesitan agua, desde la crianza de las aves hasta su tratamiento en instalaciones industriales (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, 2018).

En un contexto donde la sostenibilidad es un factor clave, la optimización de los recursos hídricos se ha convertido en una prioridad para las empresas avícolas. Además de los desafíos relacionados con la disponibilidad y calidad del agua, el sector enfrenta cada vez más restricciones normativas que obligan a las empresas a reducir su huella hídrica y mejorar la gestión de sus aguas residuales (Gerbens-Leenes *et al.*, 2011).

1.1.1. Importancia del agua en la producción avícola

El agua es fundamental en todas las fases del ciclo vital de las aves y su procesamiento. Desde la etapa de cría, las aves requieren grandes cantidades de agua para el consumo y la higiene desde la fase de cría. No obstante, es en las fases de procesamiento donde se incrementa el consumo de agua, especialmente en procesos como el escalado, la limpieza de las instalaciones y, en particular, el enfriado-hidratado de las carcasas de pollo (FAO, 2013).

El valor del agua en el procesamiento de aves reside en su habilidad para asegurar la seguridad de los alimentos. Por ejemplo, es crucial el refrigerado correcto de las carcasas para prevenir la multiplicación de patógenos como la Salmonella y la Campylobacter, que constituyen riesgos considerables para la salud pública. Además, el agua se emplea en la regulación del polvo, la lubricación de las líneas productivas y la remoción de residuos de plumas, sangre y grasa. Sin una utilización eficaz del agua en estas etapas, la calidad del producto final podría verse seriamente afectada, impactando tanto la seguridad del consumidor como la imagen de las compañías (Leone *et al.*, 2024).

1.1.2. Cantidades de agua utilizadas en cada etapa del procesamiento de pollo

Las plantas avícolas utilizan diferentes cantidades de agua en función de las etapas específicas del procesamiento. Según estudios recientes, los volúmenes de agua pueden variar considerablemente dependiendo de las tecnologías utilizadas y las normativas locales. Por ejemplo, en el escaldado, que es una de las primeras etapas del procesamiento, se requieren 0,95

litros de agua por ave. En esta fase, el agua caliente se utiliza para aflojar las plumas y facilitar su remoción. Durante la etapa de eviscerado, que implica la extracción de los órganos internos, se emplean aproximadamente 7,6 litros de agua por ave para lavar el interior de las carcasas y eliminar cualquier residuo potencialmente contaminante. Finalmente, el enfriado-hidratado consume aproximadamente 6,47 litros de agua por ave, lo que convierte estas etapas en las más intensivas en cuanto a recursos hídricos (Fátima *et al.*, 2021).

Se estima que una planta procesadora de tamaño medio puede utilizar entre 20 y 40 litros de agua por ave procesada, lo que genera un gran desafío en términos de gestión de recursos, especialmente en regiones donde el agua es un recurso escaso (Luján-Rhenals *et al.*, 2016).

La adopción de tecnologías más eficientes y la implementación de sistemas de recirculación de agua son medidas clave para reducir este consumo.

1.1.3. Impacto ambiental y regulaciones sobre el uso de agua en la industria avícola

El impacto ambiental del uso intensivo de agua en la industria avícola es relevante. Además de la extracción de grandes volúmenes de agua, el proceso avícola genera una gran cantidad de aguas residuales que contienen contaminantes, incluyendo grasas, proteínas, desechos orgánicos y patógenos. Los residuos, en caso de no ser gestionados adecuadamente, pueden dañar la biodiversidad y la salud de las comunidades locales (Seidavi *et al.*, 2019).

A nivel global, existen diversas regulaciones que buscan mitigar este impacto. En la Unión Europea, por ejemplo, la Directiva Marco del Agua (DMA) establece requisitos estrictos para la gestión y el tratamiento de aguas residuales en industrias como la avícola (Al Seadi & Holm-Nielsen, 2004). En los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) también impone límites en la cantidad de contaminantes que pueden ser liberados en cuerpos de agua (U.S. Environmental Protection Agency, 2023). El cumplimiento de estas disposiciones no sólo es esencial para salvaguardar el medio ambiente, sino que también contribuye a las empresas a prevenir sanciones económicas y perjuicios a su reputación.

1.2. Procesos de enfriado-hidratado en el procesamiento de pollo

El procedimiento de enfriado-hidratado es crucial en el manejo de aves, dado que es en esta etapa donde se garantiza la seguridad del producto al disminuir de manera rápida la temperatura de las carcasas de pollo. No obstante, este procedimiento conlleva un gran uso de agua, lo que lo sitúa como una de las zonas esenciales para la optimización en cuanto a recursos de agua (Belk *et al.*, 2021).

1.2.1. Descripción del proceso de enfriado-hidratado

El enfriado-hidratado consiste en sumergir las carcasas de pollo en grandes tanques de agua fría o en sistemas de ducha, que permiten reducir rápidamente la temperatura interna de las aves. Este proceso es esencial para evitar el crecimiento bacteriano, pero también es una de las fases más costosas en términos de uso de agua. El enfriamiento debe realizarse a temperaturas específicas para garantizar la seguridad del producto. En la mayoría de los casos, la temperatura interna de las carcasas debe reducirse a menos de 4°C en un período de tiempo relativamente corto, generalmente en menos de 90 minutos. Si el enfriado no se realiza adecuadamente, existe un riesgo elevado de que bacterias como la *Salmonella* proliferen, comprometiendo la seguridad del producto final (Paolazzi *et al.*, 2013).

1.2.2. Efectos del enfriado-hidratado en la calidad del producto

Además de su función en la seguridad de los alimentos, el proceso de enfriado-hidratado también incide en otros elementos de la calidad del producto, tales como su textura, sabor y contenido de humedad. Un enfriamiento excesivamente rápido puede provocar la contracción de los tejidos musculares, alterando la textura del pollo, mientras que un enfriamiento deficiente puede dejar el producto expuesto a la contaminación por bacterias. Se ha observado en varias investigaciones que el consumo excesivo de agua durante el proceso de enfriamiento puede

provocar una absorción excesiva de agua en el pollo, lo que podría afectar el peso final del producto y su calidad percibida por los consumidores (Barbut & Leishman, 2022). Este es un aspecto que las empresas deben considerar al buscar optimizar tanto el uso de agua como la calidad del producto final.

1.2.3. Consumo de agua en el proceso de enfriado-hidratado

El consumo de agua durante el enfriado-hidratado es uno de los principales retos para la industria avícola. Como se mencionó anteriormente, este proceso consume aproximadamente 7 litros de agua por ave procesada, dependiendo de la tecnología y los controles utilizados (Fatima *et al.*, 2021). Si bien existen tecnologías para reducir este consumo, muchas plantas procesadoras aún dependen de sistemas tradicionales que no son lo suficientemente eficientes.

Una de las medidas para disminuir el consumo de agua en esta etapa es la adopción de tecnologías de enfriamiento en seco, que emplean aire frío en lugar de agua. No obstante, esta tecnología todavía no ha sido utilizada con frecuencia debido a los elevados costos de instalación y funcionamiento (Wang *et al.*, 2020).

1.3. Tecnologías actuales de optimización de recursos hídricos en la industria alimentaria

El uso intensivo de agua en la industria alimentaria, particularmente en la avícola, ha impulsado el desarrollo y adopción de tecnologías avanzadas para optimizar su consumo. La escasez de agua, los altos costos operativos y la presión de las regulaciones medioambientales han llevado a las compañías a buscar soluciones que disminuyan el consumo de agua sin comprometer la calidad del producto. Entre estas soluciones se destacan los sistemas de recirculación, las tecnologías avanzadas de tratamiento y reutilización de aguas residuales, así como la utilización de herramientas simulativas para optimizar los procesos (Fernández *et al.*, 2020).

1.3.1. Sistemas de recirculación de agua en el procesamiento avícola

Los sistemas de recirculación de agua representan una de las tecnologías más eficientes para la reducción del consumo de agua en la industria avícola. Estos sistemas permiten reutilizar el agua dentro de varias etapas del proceso de enfriado e hidratación de las carcasas de pollo, contribuyendo a una disminución significativa en la demanda de agua fresca (Fatima et al., 2021).

El diseño de estos sistemas se basa en un proceso de filtración y desinfección. El agua utilizada en las fases más intensivas, como el enfriado-hidratado, se recolecta, pasa por filtros para eliminar sólidos y grasas, y luego es desinfectada mediante tecnologías como la radiación ultravioleta (UV), ozono o cloración. Posteriormente, esta agua tratada puede ser reutilizada en etapas menos críticas del proceso, como la limpieza de equipos o el lavado de las instalaciones (Fatima et al., 2021).

Sin embargo, el empleo de sistemas de recirculación conlleva retos. Uno de los desafíos más significativos es el gasto inicial de instalación, que puede ser notablemente elevado, en particular para plantas de tamaño pequeño o mediano. Además, el tratamiento del agua para su reutilización debe adherirse a normas de salud rigurosas, lo que conlleva un seguimiento continuo para asegurar que no exista contaminación entre fases (Fatima et al., 2021; Terán et al., 2021).

Por otro lado, algunas plantas han reportado problemas con la acumulación de residuos sólidos en los sistemas de recirculación, lo que puede afectar la eficiencia del filtrado y desinfección. Para mitigar estos problemas, muchas plantas han comenzado a integrar sistemas de monitoreo en tiempo real que permiten ajustar los parámetros de filtración y desinfección según sea necesario, garantizando así un rendimiento óptimo (Coskun et al., 2015; Philipp et al., 2021).

1.3.2. Tratamiento y reutilización de aguas residuales en plantas procesadoras

El tratamiento de aguas residuales es otro elemento clave para la optimización de los recursos hídricos en la industria avícola. Este procedimiento posibilita la limpieza y reutilización del

agua utilizada durante las diversas fases del proceso, reduciendo tanto el consumo de agua fría como el volumen de efluentes generados (Hargitai *et al.*, 2024).

Los métodos de tratamiento de aguas residuales varían en función de la naturaleza de los contaminantes que se encuentran en el agua. En la industria avícola, el agua residual suele contener materia orgánica (plumas, sangre, grasa), así como compuestos químicos derivados de los productos de limpieza y desinfección (Terán *et al.*, 2021).

Los métodos más comunes incluyen:

- Tratamiento físico-químico: Implica la coagulación, floculación y sedimentación de sólidos suspendidos, seguido de una filtración fina para eliminar residuos menores. Este tipo de tratamiento es efectivo para eliminar partículas gruesas y grasas del agua (Golgeri *et al.*, 2022).
- Tratamiento biológico: A través de procesos como la digestión anaerobia, las bacterias descomponen la materia orgánica presente en el agua, produciendo biogás como subproducto. Este método es ideal para tratar aguas con altos niveles de carga orgánica, y además permite la generación de energía renovable (Zia *et al.*, 2020).
- Desinfección: El uso de tecnologías como la radiación UV, el ozono y el cloro ayuda a eliminar bacterias y virus del agua tratada, asegurando que pueda ser reutilizada sin riesgo para la seguridad alimentaria (Rana & Campbell, 2021; Gimenez *et al.*, 2024).

El costo es uno de los retos más significativos en la puesta en marcha de sistemas de tratamiento de aguas residuales. A pesar de que las ganancias a largo plazo pueden ser considerables, numerosas plantas de procesamiento, particularmente las de menor tamaño, pueden descubrir que los gastos iniciales resultan ser excesivos (Saravia *et al.*, 2022).

Además, la eficiencia de los sistemas de tratamiento depende en gran medida de la calidad del mantenimiento. Los sistemas biológicos, por ejemplo, requieren condiciones específicas para que las bacterias funcionen de manera óptima, lo que puede ser complicado de gestionar en plantas con fluctuaciones en la producción (Zia *et al.*, 2020).

1.3.3. Aplicación de herramientas de simulación para la optimización del uso del agua

Las herramientas de simulación se han convertido en un recurso fundamental para la optimización de los recursos hídricos en la industria alimentaria. Estas herramientas permiten modelar diferentes escenarios operativos, evaluar la eficacia del uso del agua en cada etapa del proceso y proponer mejoras sin necesidad de detener la producción en realidad.

El software de simulación, como SIMIO, permite a los ingenieros modelar procesos industriales complejos y visualizar cómo pequeños cambios en los parámetros de operación pueden impactar en el uso del agua y la eficiencia del proceso en general. Además, la simulación permite probar diferentes configuraciones de manera virtual, lo que minimiza los riesgos asociados a la implementación de nuevas tecnologías o modificaciones en las líneas de producción. Esto es especialmente útil en plantas procesadoras donde cualquier interrupción puede traducirse en pérdidas económicas significativas (Smith & Sturrock, 2024).

Pese a las ventajas, las herramientas de simulación también plantean retos, particularmente en lo que respecta a la cantidad de datos exactos necesarios para generar modelos confiables. Es crucial la calidad de los datos, que incluyen los flujos de agua, las temperaturas y el tiempo de procesamiento, para garantizar que los modelos de simulación representan con exactitud las condiciones reales de la planta (Ojstersek & Buchmeister, 2017).

El futuro de la simulación en la optimización del uso de agua en la industria alimentaria se enfoca en la integración de tecnologías de inteligencia artificial y aprendizaje automático. Estas tecnologías pueden analizar grandes cantidades de datos en tiempo real y ajustar los parámetros de simulación automáticamente para encontrar las mejores soluciones en términos de eficiencia y sostenibilidad (Malabagi *et al.*, 2021; Kumar, 2024).

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Simulación de procesos industriales mediante software

2.1.1. Introducción a la simulación de procesos en la industria

La simulación de procesos industriales es un instrumento esencial en la ingeniería contemporánea, pues facilita el modelado, análisis y optimización de sistemas complejos sin la necesidad de interrumpir o modificar los procesos físicos auténticos. En el ámbito industrial, la simulación se emplea para emular el funcionamiento de un sistema mediante modelos informáticos capaces de anticipar su rendimiento en diversos contextos operativos. Esta metodología es especialmente útil para procesos que conllevan varias variables y recursos escasos, tal como sucede con el uso de agua en la industria de alimentos (García-García et al., 2020).

En la industria avícola, el proceso de enfriamiento e hidratación del pollo es esencial para mantener la calidad del producto y garantizar la seguridad alimentaria. Sin embargo, este proceso también representa un consumo significativo de agua, lo que hace que la simulación sea una herramienta ideal para buscar optimizaciones. Al utilizar software de simulación como SIMIO, se pueden diseñar modelos para imitar el proceso de enfriamiento-hidratación y explorar cómo los diferentes cambios en los parámetros del sistema (como el caudal de agua, la temperatura o el tiempo de inmersión) afectan el consumo de agua y la eficiencia del proceso (Gaku et al., 2022).

2.1.2. Ventajas de la simulación para la optimización de recursos

Una de las mayores fortalezas de la simulación de procesos es su habilidad para detectar ineficiencias en la utilización de recursos, evitando la necesidad de hacer modificaciones costosas o posiblemente revolucionarias en el ambiente de producción real. Las simulaciones facilitan a los ingenieros la evaluación de diversos escenarios operativos y tácticas de optimización antes de tomar decisiones, lo que conlleva a una disminución de los gastos

operativos, incremento en la eficiencia y una reducción del impacto ambiental (Sujová et al, 2019).

En el contexto del proceso de enfriado-hidratado del pollo, la simulación mediante software como SIMIO puede ser una herramienta poderosa para mejorar varios aspectos clave del sistema. Algunas de las áreas más relevantes en las que la simulación puede tener un impacto significativo.

Mediante la simulación de diversas configuraciones del sistema, se pueden detectar oportunidades para disminuir el uso de agua sin afectar la calidad del producto ni la seguridad alimentaria. Por ejemplo, es posible simular fluctuaciones en el flujo de agua, la temperatura del agua o la duración del proceso de inmersión para establecer qué combinaciones proporcionan una utilización más eficaz del recurso acuático. No solo es vital en términos de conservación del agua, sino también en lo que respecta a la sostenibilidad ambiental, dado que la disminución del consumo de agua puede minimizar el efecto en el medio ambiente y acatar regulaciones cada vez más rigurosas en la administración de recursos en la industria de alimentos (Muoio et al., 2019).

La simulación, además de disminuir el uso de agua, facilita la optimización del uso de energía durante el proceso de refrigeración-hidratación. Al modificar factores como la velocidad de refrigeración, la recirculación del agua o la implementación de diversas tecnologías de refrigeración, se puede alcanzar una disminución en el uso de energía. La simulación puede contribuir a valorar la eficacia de diversas alternativas tecnológicas, tales como la implementación de intercambiadores de calor más eficaces o sistemas de recuperación energética, favoreciendo un funcionamiento más lucrativo y sustentable. Esta perspectiva no solo disminuye los gastos operacionales, sino que también contribuye a reducir la huella de carbono vinculada al proceso (Karlsson, 2011).

La simulación ofrece una perspectiva completa del sistema, lo que simplifica la detección de potenciales obstáculos o limitaciones en el flujo de trabajo que podrían perjudicar la eficiencia global del proceso. A través de la simulación de sucesos discretos, se puede representar el impacto de diversas variables en el ritmo de producción, como la relación entre las etapas de refrigeración y otros procedimientos de producción. Esto es particularmente relevante en el

sector avícola, donde los cambios en la demanda y las fluctuaciones en la cantidad de lotes de producción pueden provocar desequilibrios en el proceso. La simulación posibilita anticipar estas circunstancias e implementar mejoras que aseguren un flujo laboral más eficiente, previniendo periodos de inactividad (Pérez-Aguilar et al., 2023).

A través de la simulación, es posible evaluar el impacto de la implementación de nuevas tecnologías o modificaciones en el diseño del proceso de enfriado-hidratado. Por ejemplo, se puede simular la introducción de sistemas de reutilización de agua o el uso de tecnologías avanzadas de refrigeración, como enfriadores evaporativos o sistemas cerrados, para analizar cómo afectarían al consumo de recursos y a la eficiencia global. Esto proporciona una valiosa herramienta de toma de decisiones para las empresas, ya que permite probar soluciones innovadoras sin riesgos y con un costo reducido en comparación con la experimentación física directa (Cafasso et al., 2020).

La simulación también facilita la realización de análisis de sensibilidad para comprender cómo modificaciones en determinadas variables influyen en el rendimiento global del proceso. Esto resulta especialmente beneficioso al tomar en cuenta diversos escenarios "what-if", en los que se simulan distintas condiciones operativas o se imponen restricciones externas, como una disminución en el abastecimiento de agua o fluctuaciones en el costo de la energía. Este tipo de evaluación facilita a los ingenieros y directivos de planta la toma de decisiones fundamentadas acerca de cómo mejorar el proceso bajo diversas circunstancias, asegurando la resistencia y la habilidad para ajustarse a modificaciones imprevistas en el ambiente de operación (Mourtzis, 2019).

2.1.3. Herramientas de software utilizadas en la simulación de procesos industriales

Existen diversas herramientas de software que se utilizan en la simulación de procesos industriales. Entre ellas se encuentran las que se explicarán a continuación.

SIMIO Es una aplicación de simulación enfocada en sucesos discretos que facilita la modelación de sistemas complejos con diversas variables interconectadas. SIMIO resulta particularmente

beneficioso en la simulación de procesos de producción y logística, lo cual lo convierte en idóneo para examinar la optimización en el uso de recursos, como el agua, en procesos industriales (Reyna, 2020).

Otro software ampliamente utilizado en la simulación de procesos discretos es ARENA. Este software es conocido por su flexibilidad y capacidad para modelar una amplia variedad de procesos industriales en diferentes sectores, como la manufactura, la salud, la minería y los servicios. Sin embargo, su enfoque principal está más orientado hacia la producción y la logística, lo que lo convierte en una herramienta muy eficaz para modelar líneas de producción, optimizar cadenas de suministro y mejorar el flujo de trabajo en entornos logísticos complejos (Mohammed et al., 2019).

ARENA posibilita la simulación de procesos discretos con diversas variables, simplificando la detección de problemas, la valoración de la utilización de recursos y la mejora de los tiempos de ciclo. Su habilidad para ilustrar de manera gráfica los sistemas y producir análisis exhaustivos de los resultados lo hace una elección frecuente entre los ingenieros y analistas de operaciones que aspiran a incrementar la eficiencia en las operaciones y disminuir gastos. Sin embargo, a pesar de su adaptabilidad, ciertos usuarios perciben que el software puede resultar menos sencillo para modelar sistemas que implican procesos continuos o fluidos, tal como sucede con el enfriamiento-hidratado de alimentos, donde herramientas como SIMIO pueden proporcionar una mayor flexibilidad (Allen, 2019).

Al igual que SIMIO y ARENA, FlexSim es un programa de simulación muy usado que proporciona habilidades sofisticadas para modelar sistemas complejos y optimizar la utilización de recursos. Este programa se distingue por su interfaz sencilla y su habilidad para crear representaciones gráficas en 3D de los sistemas simulados, lo que simplifica la visualización y el estudio minucioso de los procesos. FlexSim se aplica en varias industrias, como la manufactura, la logística y la asistencia sanitaria, con el objetivo de optimizar el flujo laboral, disminuir los periodos de espera y maximizar la distribución de recursos (Kliment et al., 2022).

Una de las mayores fortalezas de FlexSim radica en su habilidad para replicar procesos tanto discretos como continuos, lo que lo hace una herramienta adaptable para modelar una extensa variedad de escenarios industriales. Además, dispone de potentes instrumentos analíticos que

habilitan a los usuarios a efectuar análisis estadísticos y valoraciones de desempeño en diversas configuraciones de sistema (Kliment et al., 2022).

No obstante, SIMIO se diferencia de FlexSim y otros rivales por su habilidad para fusionarse de manera sencilla con tecnologías en auge como el Internet de las Cosas (IoT) y la analítica avanzada. Esta integración posibilita la conexión en tiempo real de los modelos de simulación en SIMIO con fuentes de datos operativos, lo que simplifica la toma de decisiones fundamentadas en información actualizada y un estudio más detallado de las tendencias del sistema. Esta característica resulta particularmente beneficiosa en contextos de producción y logística contemporáneos, donde la disponibilidad de información en tiempo real y la habilidad para ajustarse con rapidez a variaciones en las condiciones de operación son fundamentales para preservar la competitividad y mejorar el desempeño del sistema (Félez, 2014; Valdivia, 2014).

2.1.4. Retos y limitaciones de la simulación en entornos industriales

A pesar de sus múltiples ventajas, la simulación de procesos industriales también presenta una serie de retos y limitaciones, especialmente en entornos industriales donde los sistemas son altamente complejos y dinámicos.

La calidad de los resultados de la simulación depende en gran medida de la precisión de los datos introducidos en el modelo. Si los datos utilizados para representar el sistema real son inexactos, incompletos o desactualizados, el resultado de la simulación puede ser engañoso o erróneo. Esto plantea un desafío importante, ya que incluso pequeñas discrepancias en los datos pueden dar lugar a predicciones incorrectas sobre el comportamiento del sistema, lo que en última instancia afecta a la toma de decisiones. Por ejemplo, en el contexto de la optimización del uso industrial del agua, si los caudales, las mediciones de temperatura o los cronogramas operativos introducidos en el modelo son inexactos, la simulación puede sugerir ajustes que no logren la eficiencia deseada o, peor aún, introduzcan ineficiencias (Ali et al., 2014).

Para asegurar simulaciones exactas, es esencial conservar datos de excelente calidad y actualizar el modelo de manera regular para representar las condiciones operativas más recientes o en tiempo real. Esto demanda un compromiso con procesos robustos de recolección y

comprobación de datos, frecuentemente respaldados por sistemas de administración de datos avanzados. Adicionalmente, la experiencia de ingenieros y analistas es crucial para examinar y confirmar los datos introducidos en el modelo, con el objetivo de asegurar que la auténtica dinámica del sistema se capture y se represente con exactitud en el ambiente de simulación (Zhan et al., 2008, Garcia, 2023).

A pesar de que la simulación puede resultar en costos a largo plazo al detectar ineficiencias y maximizar la utilización de recursos, la creación de modelos detallados y exactos puede demandar una considerable inversión inicial. Frecuentemente, la elaboración de estos modelos conlleva la compra de software avanzado, actualizaciones de hardware y un volumen significativo de tiempo destinado a la construcción y perfeccionamiento de la representación del sistema. Además, podría ser imprescindible formar a personal experto en el manejo del software de simulación, lo que incrementa los gastos totales. Esto puede suponer un obstáculo para las entidades que no poseen la infraestructura o el presupuesto requeridos para apoyar dichas iniciativas (Melesse et al., 2021).

En términos de tiempo, la construcción de un modelo altamente detallado requiere una comprensión profunda del proceso que se está simulando, una cuidadosa recopilación de datos y repetidas iteraciones para ajustar el modelo. Este proceso puede llevar mucho tiempo, especialmente para sistemas industriales a gran escala con muchos componentes interdependientes. Las inversiones de tiempo y costos requeridas al principio pueden hacer que algunas organizaciones duden en adoptar tecnologías de simulación, aunque los beneficios a largo plazo pueden superar estos desafíos iniciales (Chiarini, 2021).

Las simulaciones pueden generar grandes volúmenes de datos, que deben interpretarse correctamente para impulsar una toma de decisiones eficaz. Si bien el modelo de simulación en sí puede ser sofisticado, los conocimientos derivados de los resultados pueden ser difíciles de analizar y aplicar sin la experiencia adecuada. Los ingenieros y los encargados de la toma de decisiones deben comprender las relaciones entre las diferentes variables y cómo los cambios en un aspecto del sistema afectan a todo el proceso. Sin esta comprensión, existe el riesgo de malinterpretar los resultados y tomar decisiones que no se alinean con la dinámica real del sistema (Bousdekis et al., 2021).

Para enfrentar este reto, las entidades generalmente necesitan analistas experimentados capaces de cubrir la brecha entre los resultados de datos sin procesar de la simulación y los conocimientos aplicables. Las herramientas de visualización, el estudio de sensibilidad y las comparaciones de situaciones pueden asistir en la interpretación de conjuntos de datos complejos, aunque demandan tanto destrezas técnicas como conocimientos particulares del campo. Además, la complejidad del sistema que se está modelando puede necesitar varias etapas de validación y ajuste para asegurar que la simulación represente con exactitud las circunstancias del mundo real (Franca & Ali, 2020).

En numerosas entidades, hay una resistencia intrínseca a poner en práctica modificaciones basadas en resultados de simulación, principalmente por la incertidumbre acerca de si los resultados simulados se ajustarán a la realidad. Esta resistencia generalmente surge de una mezcla de escepticismo respecto a la exactitud del modelo y las posibles alteraciones que las modificaciones podrían provocar en los procesos ya establecidos. Tanto los trabajadores como la dirección pueden tener temor a confiar en un modelo virtual, especialmente si no conocen la tecnología de simulación o han sufrido errores en proyectos previos (Florescu & Barabas, 2020).

Esta resistencia puede dificultar considerablemente la implementación de mejoras fundamentadas en la simulación, dado que las organizaciones pueden proceder con retraso basándose en los conocimientos que la simulación ofrece. Para vencer esto, es crucial promover una cultura de innovación que resalta la importancia de tomar decisiones fundamentadas en datos. Crear seguridad en el proceso de simulación a través de una validación clara, una aplicación progresiva de las modificaciones y una comunicación nítida de las ventajas puede contribuir a disminuir esta resistencia. Además, incorporar desde el inicio a los interesados principales en el proceso de simulación puede incrementar la aceptación y promover una adopción más suave de las mejoras sugeridas (Dubois, 2018).

2.2. Aplicaciones de SIMIO en la optimización de recursos

La simulación se ha convertido en una de las herramientas más cruciales para optimizar los recursos industriales. SIMIO se ha convertido en una herramienta útil para modelar sistemas complejos y optimizar el uso de recursos esenciales como el agua, la energía y el tiempo de trabajo. La planificación de la producción y la simulación de cadenas de suministro son ejemplos de aplicaciones industriales de SIMIO, que mejoran la eficiencia operativa y reducen costos sin comprometer la calidad del producto (Houck & Whitehead, 2019).

Este programa permite crear modelos detallados de cada etapa del proceso productivo y evaluar el impacto de varias configuraciones, lo que facilita la toma de decisiones basadas en datos precisos y simulaciones realistas. Además, SIMIO facilita la evaluación de escenarios alternativos sin interrumpir las operaciones actuales, lo que reduce los riesgos asociados con la implementación de nuevas tecnologías o estrategias (Dehghanimohammadabadi & Kaiser, 2017).

2.2.1. Características y capacidades del software SIMIO

El software SIMIO es una herramienta de simulación avanzada basada en eventos discretos, desarrollada para modelar y optimizar sistemas complejos en una amplia gama de industrias. Desde su lanzamiento, SIMIO se ha destacado por su capacidad de ofrecer simulaciones precisas y detalladas, proporcionando a los ingenieros y gerentes de proyectos información clave para mejorar la eficiencia operativa y reducir el consumo de recursos. A continuación, se detallan las características y capacidades más relevantes de SIMIO, que lo posicionan como uno de los softwares más potentes en la simulación de procesos industriales (Deo & Sturrock, 2021).

SIMIO utiliza un enfoque basado en eventos discretos, lo que significa que los cambios en el sistema simulado ocurren en momentos específicos, cuando se producen eventos. Este enfoque es especialmente útil en la simulación de líneas de producción y sistemas logísticos, donde las actividades y transacciones ocurren en intervalos discretos. Además, SIMIO también permite modelar procesos continuos, lo que lo hace adecuado para industrias que requieren el control de flujos continuos de materiales o líquidos, como la industria alimentaria y la de manufactura.

Este enfoque mixto, que combina eventos discretos y continuos, proporciona a los usuarios una flexibilidad sin precedentes para modelar procesos complejos. Esto permite una visión holística del sistema y la optimización de todos los elementos involucrados (Centobelli et al., 2016; Prochaska & Thiesing, 2017).

Una de las características más sobresalientes de SIMIO es su interfaz gráfica intuitiva y sencilla de usar, que permite a los usuarios crear modelos arrastrando y soltando elementos predefinidos, como máquinas, transportadores, tanques, entre otras. Esta facilidad de uso es especialmente valiosa para usuarios con poca experiencia en programación o simulación, ya que reduce la curva de aprendizaje y permite la creación de modelos funcionales en breve (Yilmaz *et al.*, 2015).

Además, las capacidades de visualización en 3D de SIMIO facilitan la comprensión de los procesos simulados y permiten a los usuarios ver cómo interactúan en tiempo real los diversos componentes del sistema. La visualización tridimensional no solo mejora la comprensión del flujo de trabajo, sino que también permite identificar cuellos de botella o ineficiencias que podrían pasar desapercibidos en una simulación basada en texto o gráficos 2D. Las empresas que valoran la claridad visual en la toma de decisiones han adoptado SIMIO gracias a esta habilidad gráfica (Mandalaki & Manesis, 2013).

SIMIO está diseñado para integrarse fácilmente con tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático. Esta capacidad de integración permite que SIMIO funcione como parte de un sistema más amplio de gestión industrial, donde los datos de sensores y otros dispositivos IoT pueden alimentar directamente las simulaciones. De esta manera, SIMIO puede actualizar los modelos en tiempo real basándose en datos operativos actuales, lo que mejora la precisión de las predicciones y permite una optimización dinámica (Dosdoğru *et al.*, 2021).

La capacidad de toma de decisiones del software se puede mejorar mediante la integración con IA. SIMIO puede analizar grandes cantidades de datos históricos y hacer recomendaciones basándose en patrones observados a través de algoritmos de aprendizaje automático. Esta capacidad ayuda a los usuarios a encontrar oportunidades de optimización que serían difíciles de encontrar de otro modo. Por ejemplo, la IA podría sugerir modificaciones en los flujos de

trabajo o la asignación de recursos en una planta procesadora de alimentos para maximizar la eficiencia y reducir el desperdicio de agua o energía (Al-Ali *et al.*, 2014).

Otra de las características más avanzadas de SIMIO es su capacidad para ejecutar simulaciones en tiempo real, lo que permite a los usuarios monitorear el rendimiento del sistema simulado mientras éste opera. Esta capacidad resulta esencial en ambientes industriales dinámicos, en los cuales las condiciones de operación pueden variar con rapidez. La utilización de la simulación en tiempo real de SIMIO posibilita el ajuste de los parámetros de operación en la marcha, lo que garantiza la eficacia del sistema en su óptimo nivel (Deo & Molnar, 2019)

El ajuste dinámico de parámetros resulta sumamente beneficioso en procesos sensibles, tales como el enfriado-hidratado en la industria avícola, donde factores como la temperatura del agua o el tiempo de inmersión pueden variar en función de la producción diaria. Al ajustar automáticamente estos parámetros, SIMIO garantiza que los recursos, tales como el agua, sean empleados de manera eficiente sin comprometer la calidad del producto.

SIMIO permite a los usuarios realizar análisis de escenarios “what-if”, una funcionalidad clave para evaluar cómo diferentes configuraciones del sistema pueden afectar su desempeño. Este tipo de análisis es especialmente útil cuando se evalúan cambios operativos o se implementan nuevas tecnologías. Mediante la simulación de múltiples escenarios, los usuarios pueden identificar el enfoque más eficiente antes de realizar cambios costosos en el entorno real (Kalbarczyk *et al.*, 2023).

En la industria alimentaria, por ejemplo, un análisis de escenarios "what-if" podría simular el impacto de reducir el caudal de agua en un proceso de enfriado sin comprometer la seguridad alimentaria. Al evaluar diferentes combinaciones de parámetros, las empresas pueden identificar la configuración más eficiente que garantice tanto la calidad del producto como un ahorro significativo de agua (Basan *et al.*, 2014).

SIMIO no solo simula procesos, sino que también contiene herramientas de optimización avanzadas que permiten identificar la mejor configuración operativa para maximizar el rendimiento del sistema. El software emplea algoritmos de optimización que permiten examinar múltiples combinaciones de variables y identificar de manera rápida las soluciones más eficientes para disminuir costos y mejorar el uso de recursos (Ojstersek & Buchmeister, 2017)

En términos de gestión de recursos, SIMIO puede optimizar tanto recursos físicos (como agua, energía y materia prima) como recursos humanos (Sormaz & Malik, 2018). Esto es particularmente valioso en entornos de producción donde se busca minimizar el desperdicio y maximizar la eficiencia. En una planta procesadora de aves, por ejemplo, SIMIO puede simular diferentes configuraciones del sistema de enfriado-hidratado para encontrar la combinación que minimice el consumo de agua sin afectar la calidad o el tiempo de procesamiento.

Las empresas pueden basar sus simulaciones en datos reales gracias a la capacidad de SIMIO para integrar datos históricos en sus modelos. SIMIO puede predecir el comportamiento futuro del sistema basándose en el rendimiento pasado. Para la planificación y la toma de decisiones a largo plazo, esta capacidad predictiva es esencial (Zhou *et al.*, 2019).

Además, la integración de datos históricos mejora la precisión de las simulaciones, lo que permite que las decisiones operativas se basen en información confiable y no en estimaciones o suposiciones. En industrias como la manufactura o el procesamiento de alimentos, donde incluso pequeños errores pueden tener consecuencias significativas, la capacidad de hacer predicciones precisas es fundamental para garantizar la eficiencia operativa y la sostenibilidad (Liu *et al.*, 2021).

2.2.2. Casos de éxito de la aplicación de SIMIO en la industria

Según Zaayman & Innamorato (2017) SIMIO desempeña un papel fundamental en la optimización de los procesos industriales, especialmente en el marco de la Industria 4.0, donde las *smart factories* requieren operaciones altamente adaptables y eficientes. A diferencia de los modelos estáticos tradicionales, SIMIO permite realizar ajustes dinámicos durante la simulación, lo que proporciona la flexibilidad necesaria para incorporar cambios en tiempo real, abordando los posibles riesgos e ineficiencias a medida que surgen. Esta capacidad es esencial en los vertiginosos entornos industriales actuales, donde la imprevisibilidad y las interrupciones pueden afectar a la productividad y la asignación de recursos. La fuerza de SIMIO reside en sus funciones de planificación y programación basadas en el riesgo (RPS), que no sólo crean

programaciones optimizadas, sino que también proporcionan un análisis automático de riesgos. Esto permite a los usuarios prever posibles retrasos o interrupciones y ajustar el proceso de programación en consecuencia. Los diagramas de Gantt integrados en el software ofrecen a los planificadores y operarios una representación visual clara de la programación actual y sus riesgos asociados. Este nivel de conocimiento es vital para mantener el pulso de las operaciones, lo que permite tomar decisiones rápidas cuando se producen cambios, como paradas inesperadas de la maquinaria o retrasos en la cadena de suministro. Varios estudios de casos ponen de relieve el impacto de SIMIO en diversos entornos industriales. Por ejemplo, BAE Systems utilizó SIMIO para mejorar sus procesos de fabricación, centrándose en la entrega de productos a tiempo y gestionando los riesgos con eficacia. Las simulaciones en tiempo real del software permitieron a la empresa perfeccionar su programación en respuesta a variables fluctuantes, como los turnos de producción y la disponibilidad de materiales. Del mismo modo, Schneider Electric utilizó SIMIO junto con su plataforma Wonderware para proporcionar a los operarios una mayor visibilidad del estado del sistema, tanto pasado como presente. Esta visibilidad era crucial para optimizar la producción y responder a cambios inesperados de forma muy eficiente. En entornos de fabricación, SIMIO ha demostrado ser especialmente eficaz para reducir los residuos, mejorar la utilización de los recursos y aumentar la eficiencia operativa general. Mediante la simulación de distintos escenarios de producción, las empresas pueden probar distintas estrategias sin interrumpir las operaciones reales, lo que permite tomar decisiones con mayor conocimiento de causa. Los resultados de estas aplicaciones incluyen no sólo la mejora de la programación y la asignación de recursos, sino también un importante ahorro de costes, ya que las industrias pueden minimizar el tiempo de inactividad y adaptarse a las condiciones cambiantes sin sacrificar la productividad. Los resultados de la aplicación de SIMIO son transformadores: las industrias informan de una mayor capacidad de respuesta, una reducción de los riesgos operativos y un uso más eficiente de los recursos. Su capacidad para simular sistemas complejos con un alto nivel de detalle permite a los fabricantes mantenerse ágiles ante los rápidos cambios del panorama industrial, lo que convierte a SIMIO en una herramienta clave en la evolución hacia «fábricas inteligentes» totalmente integradas y optimizadas en el marco de la Industria 4.0.

Otro estudio realizado por Vieira *et al.* (2019) detalla sobre el uso de SIMIO para modelizar y optimizar las operaciones logísticas de una planta de la industria cementera. La simulación se centró en actividades clave como la carga y descarga de camiones, el pesaje de materiales y el movimiento global de vehículos dentro y fuera de la planta. Mediante la aplicación de SIMIO, los investigadores pretendían analizar y mejorar el rendimiento de la cadena de suministro, especialmente en escenarios que implican la llegada de buques de carga, lo que introducía importantes retos logísticos. Los resultados de la simulación revelaron que la infraestructura actual de la planta, aunque en general es suficiente para las operaciones normales, tiene dificultades durante los periodos de máxima demanda, sobre todo cuando llega un carguero al puerto cercano. Los experimentos de simulación demostraron que la planta necesitaría unos tres días laborables para descargar completamente un buque, superando con creces las horas operativas diarias disponibles. Esto se debía principalmente a las limitaciones en la capacidad de procesamiento de camiones de la planta, concretamente en el almacén donde se guardan los materiales ensacados. SIMIO permitió identificar varios indicadores clave de rendimiento (KPI), como el tiempo medio de espera de los camiones en el sistema, el número de camiones en cola para la carga y la utilización de la capacidad de silos y almacenes. En condiciones normales, la planta funcionaba sin problemas y sin retrasos significativos; sin embargo, en las horas punta, los tiempos de espera de los camiones y el tiempo total de procesamiento aumentaban drásticamente. Por ejemplo, el tiempo de espera de los camiones aumentaba hasta 48 minutos en horas punta, lo que ponía de manifiesto la tensión del sistema de almacén, mientras que el sistema para camiones de material a granel funcionaba mejor.

Vieira *et al.* (2018) dice que la simulación proporcionó información crucial sobre cómo afectan los distintos niveles de demanda y escenarios operativos al rendimiento de la planta. Permitted a los responsables de la planta visualizar el flujo de camiones y buques de carga, ayudándoles a detectar cuellos de botella e ineficiencias. Este enfoque proactivo permitió al equipo probar escenarios alternativos, como el aumento de la capacidad del almacén o el ajuste de los horarios de llegada de los camiones, en un entorno controlado sin interrumpir las operaciones en el mundo real. Además, el estudio subraya la flexibilidad de SIMIO, ya que el modelo desarrollado puede aplicarse a otras plantas con operaciones logísticas similares. Esta adaptabilidad es valiosa para las organizaciones que buscan estandarizar y mejorar los procesos de su cadena de

suministro en diferentes instalaciones. La capacidad de visualizar y simular el flujo de mercancías a través de varias rutas de transporte (carretera, ferrocarril y mar) se alinea con los objetivos de la Industria 4.0, proporcionando información y datos en tiempo real para la toma de decisiones.

Vieira *et al.* (2018) describe el desarrollo y los resultados preliminares de un modelo de simulación de eventos discretos para una cadena de suministro del sector de la automoción utilizando Simio, haciendo hincapié en su papel en la validación de variables clave que influyen en el rendimiento de la cadena de suministro. La simulación capta con eficacia las complejidades de la cadena de suministro, incluida la creación de pedidos, la manipulación de materiales y la programación de la producción, al tiempo que da cabida a factores como los retrasos en el transporte y la gestión de inventarios. Los resultados preliminares indican que los resultados generados por el modelo se ajustan a los escenarios del mundo real, validando la relevancia de las variables elegidas a pesar del uso de distribuciones aleatorias por motivos de privacidad. Los resultados ponen de relieve la necesidad de incorporar variables adicionales, como la variabilidad de la demanda de los clientes y las incertidumbres de los proveedores, para mejorar la precisión y aplicabilidad del modelo. En general, el uso de Simio no sólo ha facilitado un análisis detallado de la dinámica de la cadena de suministro, sino que también ha aportado ideas sobre posibles áreas de investigación y perfeccionamiento, con el objetivo último de mejorar la toma de decisiones y la eficiencia operativa en el sector de la automoción.

El estudio concluye que, sin un modelo de simulación de este tipo, los responsables de las plantas carecerán de los datos necesarios para tomar decisiones informadas sobre la optimización de sus procesos logísticos. La herramienta SIMIO no sólo ayuda a comprender las capacidades operativas actuales, sino también a planificar futuras ampliaciones o cambios, como la manipulación de mayores volúmenes de carga o la reducción de los tiempos de procesamiento.

2.2.3. Beneficios de la simulación con SIMIO en la optimización del consumo de agua.

La utilización del software SIMIO en la simulación de procesos industriales ofrece múltiples beneficios que contribuyen significativamente a la optimización de operaciones, especialmente en industrias donde el uso eficiente de recursos es crucial, como en el proceso de enfriado-hidratado en la industria avícola.

Uno de los beneficios más destacados es el uso eficiente de recursos. SIMIO posibilita la elaboración de modelos exhaustivos del proceso de refrigeración-hidratación, lo que simplifica la valoración del uso de agua y energía bajo diversas condiciones de operación. Al simular diferentes situaciones, se pueden encontrar ajustes que reduzcan la utilización de estos recursos sin poner en riesgo la calidad y seguridad del producto final. Por ejemplo, modificando factores como el caudal de agua, la temperatura de refrigeración y los periodos de inmersión, es posible hallar soluciones ideales que disminuyan considerablemente el uso de agua y energía (Peng et al., 2015).

La simulación con SIMIO también conduce a una reducción de costos operativos. Al identificar oportunidades para mejorar la eficiencia en el uso de agua y energía, las empresas pueden disminuir los gastos asociados a estos recursos, que suelen representar una parte sustancial de los costos totales de producción. Además, al prever el impacto económico de posibles mejoras antes de implementarlas físicamente, se evitan inversiones innecesarias y se minimizan los riesgos operativos. Esto es especialmente relevante en un entorno industrial competitivo donde la optimización de costos es fundamental para mantener la rentabilidad (Dehghanimohammadabadi & Keyser, 2017).

Otra ventaja fundamental es el análisis de diversos escenarios sin interrumpir la producción auténtica. SIMIO posibilita la prueba de diversas tácticas operativas, tales como la puesta en marcha de sistemas de recirculación de agua, la implementación de tecnologías alternativas de refrigeración o modificaciones en la planificación de producción. Esta habilidad para experimentar en línea con varias alternativas promueve la toma de decisiones fundamentadas en datos y análisis exhaustivos, lo que incrementa la eficacia y la capacidad de adaptación de la

empresa frente a variaciones en las circunstancias del mercado o en las normativas (Campos et al., 2020).

El uso de SIMIO potencia la mejora continua. La herramienta ofrece un seguimiento continuo del desempeño del sistema, lo que facilita la identificación de zonas de mejora y la realización de modificaciones en tiempo real. Los operadores tienen la posibilidad de emplear la información recogida de las simulaciones para ajustar el proceso a nuevas exigencias o circunstancias operativas, garantizando que la eficiencia persista o incluso se aumente a lo largo del tiempo. Este método proactivo en la administración de procesos es crucial para conservar una superioridad competitiva en el sector (Zaayman & Innamorato, 2017).

La simulación utilizando SIMIO ayuda a disminuir el impacto en el medio ambiente. Al maximizar la utilización de agua y energía, se reduce el impacto ecológico de las actividades industriales. Esto es especialmente relevante en el sector avícola, donde la utilización excesiva de recursos puede conllevar consecuencias considerables en lo que respecta a la sostenibilidad. Al disminuir el uso de agua, se contribuye a la preservación de un recurso esencial y se reduce la producción de aguas residuales. Asimismo, al reducir el uso de energía, se disminuyen las emisiones vinculadas y se progresa hacia actividades más sustentables y amigables con el entorno (Sturrock, 2019) .

2.2.4. Limitaciones y oportunidades de mejora en el uso de SIMIO

Aunque el software SIMIO brinda notables ventajas en la mejora de procesos industriales, también tiene algunas restricciones que se deben tener en cuenta para potenciar su eficacia. Una de las restricciones más significativas reside en la necesidad de datos de alta calidad. Para que las simulaciones en SIMIO sean exactas y reflejen correctamente las circunstancias reales de un proceso, es imprescindible disponer de datos operativos actualizados y fiables. Si los datos utilizados no son precisos o están incompletos, los resultados de la simulación pueden ser engañosos, lo que podría llevar a tomar decisiones ineficaces. En este sentido, la recopilación, verificación y actualización de los datos se convierte en un paso crucial y demanda sistemas

robustos de gestión de información, así como personal capacitado en el análisis y manipulación de dichos datos (Constante, 2018).

Otro reto significativo es el precio de la implementación. A pesar de que SIMIO puede producir importantes ahorros operativos a largo plazo, su implementación inicial puede resultar costosa, tanto en lo que respecta a la compra de licencias y hardware, como a la formación requerida para que el personal emplee el software de manera eficiente. Estas inversiones iniciales pueden representar un obstáculo para compañías de menor tamaño o con recursos escasos. No obstante, esta restricción también ofrece una oportunidad para incrementar el acceso a la tecnología a través de versiones del software más asequibles, programas de formación más accesibles o módulos más concretos que puedan ser implementados de forma gradual (Alrabghi & Tameem, 2024).

La complejidad en el desarrollo de modelos también es un factor a tener en cuenta. SIMIO facilita el modelado de sistemas complejos, sin embargo, la elaboración de modelos detallados puede ser un procedimiento que demanda gran cantidad de tiempo y empeño, particularmente en sistemas industriales con varias variables y vínculos interrelacionados. La elaboración de estos modelos requiere una gran comprensión tanto del proceso que se está modelando como del instrumento de simulación en sí mismo. Esto podría complicar la implementación de SIMIO en contextos donde no existen expertos en simulación o donde los procesos industriales son extremadamente dinámicos, lo que demandaría modificaciones constantes en los modelos (Pereira & Almeida, 2017).

Otra limitación es la resistencia al cambio organizacional. Aunque SIMIO puede proporcionar datos valiosos para mejorar la eficiencia de los procesos, es posible que el personal operativo o los directivos muestren cierta reticencia a implementar cambios basados en simulaciones. Esto puede deberse a una falta de familiaridad con la tecnología, preocupaciones sobre la precisión de los modelos o temor a los posibles riesgos asociados con la alteración de procesos establecidos. Superar esta resistencia requiere una estrategia clara de comunicación y formación, que demuestre los beneficios de la simulación y fomente la confianza en las decisiones basadas en datos (Henriques et al., 2016).

No obstante, estas restricciones también generan oportunidades de mejora considerables en la utilización de SIMIO. Una integración con tecnologías en auge como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) es una de las más alentadoras. Al integrar estas tecnologías, SIMIO podría utilizar información en tiempo real directamente desde los sistemas productivos, lo que facilitaría la modificación dinámica de los modelos de simulación y potenciaría aún más la exactitud de los resultados. Además, la implementación de Inteligencia Artificial podría contribuir a automatizar la generación y modificación de modelos, lo que disminuiría la presión sobre los ingenieros y potenciaría la reacción del sistema frente a variaciones inesperadas en las condiciones operativas (Ojstersek et al., 2023).

Otra posibilidad de mejora es la simplificación de la interfaz de usuario y las características del software, lo que facilitaría a personal no especializado el uso de SIMIO para llevar a cabo simulaciones elementales sin necesidad de una capacitación amplia. Esto permitiría que la tecnología sea más accesible para un público más extenso en el sector, lo que podría agilizar su implementación y potenciar su influencia en la mejora de procesos industriales (Mandalaki & Manesis, 2013).

2.3. Revisiones bibliográficas sobre la optimización del consumo de agua en el procesado del pollo

Para realizar la revisión bibliográfica, se aplicó una estrategia de búsqueda enfocada en identificar investigaciones relevantes vinculadas con la optimización del uso de agua en el proceso de refrigeración-hidratación en la industria avícola, empleando herramientas de simulación, especialmente el software SIMIO. Dada la escasez de datos concretos disponibles, se fijó como criterio de elección que los artículos evaluados se publicaran a partir del año 2015. Esto garantizó que los estudios tomados en cuenta estuvieran al día y representaran las tendencias más recientes en el uso de tecnologías para disminuir el consumo de agua en el manejo de aves.

Las fuentes de información incluyeron bases de datos académicas de reconocido prestigio, tales como Scopus, ScienceDirect, y Google Scholar, así como revistas especializadas en ingeniería de procesos y tecnologías sostenibles en la industria alimentaria. Las palabras clave utilizadas

durante la búsqueda fueron: "optimización del consumo de agua", "enfriado-hidratado de aves", "simulación de procesos industriales", "software SIMIO", y "gestión hídrica en la industria avícola".

2.3.1. Revisión de estudios previos sobre optimización hídrica en la industria avícola.

La elección de las investigaciones se realizó en dos fases. En la primera, se llevó a cabo una preselección fundamentada en la importancia de los títulos y síntesis de los artículos hallados durante el estudio bibliográfico. Los estudios que trataban la optimización del uso de agua en procesos industriales, poniendo especial atención en la industria de aves, fueron escogidos para un análisis más exhaustivo. En la segunda fase, se llevó a cabo un análisis más detallado de los estudios escogidos, centrándose en los métodos aplicados, los resultados logrados y las tecnologías utilizadas, especialmente en la simulación de procesos industriales mediante SIMIO.

El estudio de los hallazgos de investigaciones anteriores facilitó la identificación de las tácticas más eficaces para disminuir el uso de agua durante la refrigeración e hidratación de los pollos. Algunas investigaciones subrayaron la importancia de los sistemas de recirculación de agua, mientras que otras se enfocaron en la aplicación de tecnologías de enfriamiento de vanguardia. Adicionalmente, se evaluaron los beneficios de emplear programas de simulación, como SIMIO, para simular y optimizar la utilización del agua sin afectar la calidad del producto final.

2.3.2. Comparación de enfoques y tecnologías utilizadas en la optimización del agua.

Una parte clave de esta revisión fue la comparación de diferentes métodos de simulación aplicados al proceso de enfriado-hidratado. SIMIO se puede comparar con otras herramientas de simulación utilizadas en la industria, como ARENA y FlexSim. Se pueden evaluar diferentes aspectos como la facilidad de modelado de sistemas complejos, la capacidad de analizar múltiples escenarios operativos y la precisión en la predicción de los resultados.

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

3. Aplicación de la Metodología.

La metodología empleada para realizar la búsqueda y dar una solución al problema que presenta la empresa Avícola donde se desarrollara el proyecto, es propuesta por Law y Kelton (2011), misma que consiste en una serie de pasos para que se pueda desarrollar.

3.1. Formulación del problema

El presente trabajo muestra la construcción de un modelo de simulación del proceso de recirculación de agua en la etapa de enfriado- hidratado, en el proceso de producción de la empresa Avícola, con el objetivo de ofrecer diferentes escenarios de mejoras.

Definición de la problemática.

El principal problema que presenta la empresa Avícola donde se desarrollara el proyecto, es debido a la constante creciente del consumo de agua para el proceso de transformación de la materia prima cabe mencionar que, de acuerdo a algunas fuentes citadas, mencionan que una planta de nivel medio ocupa entre 20 y 40 litros de agua por aves para poder realizar su procesamiento, siendo la etapa de evisceración, enfriado-hidratado donde se consume más de un 50% de agua.

Objetivo: Diseñar un modelo del sistema actual de operación, para identificar las áreas de oportunidad, mejoras, evaluación de las etapas, donde se consume el mayor recurso hídrico.

Definición de criterio para comparar el modelo.

Para realizar la comparación del modelo real con lo que se pretende realizar se cuenta con el apoyo y la asignación del Jefe del área de producción, la cual es el responsable directo de la operación, a su vez se trabaja en conjunto con dos supervisores de producción que se encuentran a su cargo de la Jefatura, la cual tienen la responsabilidad de la producción, logística, personal operativo y se trabajara en conjunto para poder tomar la mejor decisión en cuanto al modelo que se apegue más las necesidades de su proceso.

Número de personas involucradas.

El presente proyecto fue realizado por un estudiante de la maestría en Ingeniería del instituto tecnológico superior de Huatusco. En una Empresa Avícola, donde generalmente dos supervisores, dos basculistas y un jefe de área se trabaja y donde realiza en coordinación todas las actividades que conlleva el proceso.

Delimitación de la problemática.

El diseño a simular es la etapa de enfriamiento – hidratación, del proceso ya que diariamente se está desechando el agua de cada una de las tinas, donde se ponen a enfriar e hidratar las aves una vez procesadas, lo que genera un fuerte gasto económico para la empresa, contaminación del medio ambiente y pérdidas económicas cuando el producto no llega a su temperatura adecuada.

3.2. Recolección de datos y definición del modelo.

La recolección de datos es una etapa sumamente importante ya que, para la realización del diseño en la simulación, se depende mucho de los datos obtenidos para poder retroalimentar el modelo, para ello la empresa no cuenta con algún procedimiento o formato donde se puedan registrar los datos de consumo de agua potable.

3.2.1 Formato de Bitácora Diaria.

La empresa no cuenta con un formato o bitácora consecutivo donde se registren los consumos de aguas durante el proceso y la limpieza, para ello se realiza el siguiente formato para la recolección de datos, diariamente donde se describe lo siguiente;

- Se coloca la fecha.
- Toma de lectura del medidor de agua (Temprano).
- Toma de lectura del medidor de agua (Tarde).
- Se registra el total de m^3 utilizados en el proceso.
- Se registra el total de m^3 utilizados en la Limpieza.
- Se determina el costo del m^3 utilizado en el proceso en base al costo del municipio.
- Se determina el costo del m^3 utilizado en la limpieza en base al costo del municipio.

- Se determina el costo total de los m³ utilizados en el proceso y la limpieza de la planta.

Se puede apreciar el formato diseñado para el registro y toma de lecturas de consumo de agua potable dentro de la empresa tanto como para la limpieza y la operación. Ver. Anexo1.

Una vez realizado y teniendo el formato se realizan las actividades siguientes para poder realizar la recolección de datos las cuales fueron las siguientes:

- Medición de los tiempos de llenado de agua de cada una de las tinas.
- Medición los tiempos de ciclos de cambio de agua de cada una de las tinas.
- Tiempo de estadía del producto de en cada una las tinas.
- Medición de temperatura del agua.
- Medición de tiempo de rellenado o reposición de niveles en cada tina.
- Creación de base de Excel para interpretación de datos.

3.2.2. Recolección y medición de datos cuantitativos durante cuatro meses del consumo de agua.

A continuación, en la Tabla 1. Se muestran los datos recolectados del mes de agosto al mes de diciembre del 2023.

En la tabla 1, se observan los consumos de agua potable por día que ocuparon para las limpiezas operativas del proceso y el total consumido en el área de proceso(producción) del mes de agosto del año 2023.

TABLA1. Datos de consumo de agua. (Fuente. Elaboración propia).

CONSUMO DE AGUA EN LIMPIEZA Y PROCESO DEL MES DE AGOSTO 2023								
FECHA	LECTURA TEMPRANO	LECTURA TARDE	AGUA LIMPIEZA	AGUA PROCESO	COSTO AGUA X M3	COSTO TOTAL LIMPIEZA	COSTO TOTAL PROCESO	COSTO TOTAL
01/08/2023	5,016	5,031	15	18	\$51.12	\$766.84	\$920.20	\$1,687.04
02/08/2023	5,049	5,062	13	16	\$51.12	\$664.59	\$817.96	\$1,482.55
03/08/2023	5,078	5,089	11	15	\$51.12	\$562.35	\$766.84	\$1,329.18
04/08/2023	5,104	5,118	14	14	\$51.12	\$715.71	\$715.71	\$1,431.43
05/08/2023	5,132	5,148	16	10	\$51.12	\$817.96	\$511.22	\$1,329.18
06/08/2023	5,158	5,170	12	17	\$51.12	\$613.47	\$869.08	\$1,482.55
07/08/2023	5,187	5,203	16	11	\$51.12	\$817.96	\$562.35	\$1,380.30
08/08/2023	5,214	5,230	16	17	\$51.12	\$817.96	\$869.08	\$1,687.04
09/08/2023	5,247	5,268	21	18	\$51.12	\$1,073.57	\$920.20	\$1,993.77
10/08/2023	5,286	5,298	12	24	\$51.12	\$613.47	\$1,226.94	\$1,840.40
11/08/2023	5,322	5,335	13	17	\$51.12	\$664.59	\$869.08	\$1,533.67
12/08/2023	5,352	5,361	9	19	\$51.12	\$460.10	\$971.32	\$1,431.43
13/08/2023	5,380	5,385	5	21	\$51.12	\$255.61	\$1,073.57	\$1,329.18
14/08/2023	5,406	5,421	15	11	\$51.12	\$766.84	\$562.35	\$1,329.18
15/08/2023	5,432	5,445	13	11	\$51.12	\$664.59	\$562.35	\$1,226.94
16/08/2023	5,456	5,467	11	16	\$51.12	\$562.35	\$817.96	\$1,380.30
17/08/2023	5,483	5,498	15	13	\$51.12	\$766.84	\$664.59	\$1,431.43
18/08/2023	5,511	5,533	22	19	\$51.12	\$1,124.69	\$971.32	\$2,096.02
19/08/2023	5,552	5,568	16	18	\$51.12	\$817.96	\$920.20	\$1,738.16
20/08/2023	5,584	5,601	17	19	\$51.12	\$869.08	\$971.32	\$1,840.40
21/08/2023	5,620	5,639	19	16	\$51.12	\$971.32	\$817.96	\$1,789.28
22/08/2023	5,655	5,664	9	22	\$51.12	\$460.10	\$1,124.69	\$1,584.79
23/08/2023	5,686	5,698	12	10	\$51.12	\$613.47	\$511.22	\$1,124.69
24/08/2023	5,708	5,724	16	18	\$51.12	\$817.96	\$920.20	\$1,738.16
25/08/2023	5,742	5,758	16	25	\$51.12	\$817.96	\$1,278.06	\$2,096.02
26/08/2023	5,783	5,796	13	13	\$51.12	\$664.59	\$664.59	\$1,329.18
27/08/2023	5,809	5,818	9	19	\$51.12	\$460.10	\$971.32	\$1,431.43
28/08/2023	5,837	5,853	16	20	\$51.12	\$817.96	\$1,022.45	\$1,840.40
29/08/2023	5,873	5,890	17	19	\$51.12	\$869.08	\$971.32	\$1,840.40
30/08/2023	5,909	5,923	14	20	\$51.12	\$715.71	\$1,022.45	\$1,738.16
31/08/2023	5,943	5,956	13	24	\$51.12	\$664.59	\$1,226.94	\$1,891.53
	5,980							
SUMAS			436	530		\$21,624.75	\$27,094.85	\$49,384.19

En la tabla 2, se observan los consumos de agua potable por día que se ocuparon para las limpiezas operativas del proceso y el total consumido en el área de proceso(producción) durante el mes de octubre del año 2023.

Continua. TABLA 2. Datos de consumo de agua. (Fuente. Elaboración propia).

CONSUMO DE AGUA EN LIMPIEZA Y PROCESO								
FECHA	LECTURA TEMPRANO	LECTURA TARDE	AGUA LIMPIEZA	AGUA PROCESO	COSTO AGUA X M3	COSTO TOTAL LIMPIEZA	COSTO TOTAL PROCESO	COSTO TOTAL
01/10/2023	6,730	6,736	6	20	\$ 51.12	\$ 306.72	\$ 1,022.40	\$ 1,329.12
02/10/2023	6,756	6,761	5	21	\$ 51.12	\$ 255.60	\$ 1,073.52	\$ 1,329.12
03/10/2023	6,782	6,800	18	28	\$ 51.12	\$ 920.16	\$ 1,431.36	\$ 2,351.52
04/10/2023	6,828	6,848	20	12	\$ 51.12	\$ 1,022.40	\$ 613.44	\$ 1,635.84
05/10/2023	6,860	6,873	13	12	\$ 51.12	\$ 664.56	\$ 613.44	\$ 1,278.00
06/10/2023	6,885	6,899	14	18	\$ 51.12	\$ 715.68	\$ 920.16	\$ 1,635.84
07/10/2023	6,917	6,925	8	15	\$ 51.12	\$ 408.96	\$ 766.80	\$ 1,175.76
08/10/2023	6,940	6,953	13	19	\$ 51.12	\$ 664.56	\$ 971.28	\$ 1,635.84
09/10/2023	6,972	6,980	8	20	\$ 51.12	\$ 408.96	\$ 1,022.40	\$ 1,431.36
10/10/2023	7,000	7,011	11	17	\$ 51.12	\$ 562.32	\$ 869.04	\$ 1,431.36
11/10/2023	7,028	7,046	18	24	\$ 51.12	\$ 920.16	\$ 1,226.88	\$ 2,147.04
12/10/2023	7,070	7,080	10	18	\$ 51.12	\$ 511.20	\$ 920.16	\$ 1,431.36
13/10/2023	7,098	7,115	17	13	\$ 51.12	\$ 869.04	\$ 664.56	\$ 1,533.60
14/10/2023	7,128	7,138	10	15	\$ 51.12	\$ 511.20	\$ 766.80	\$ 1,278.00
15/10/2023	7,153	7,158	5	27	\$ 51.12	\$ 255.60	\$ 1,380.24	\$ 1,635.84
16/10/2023	7,185	7,191	6	26	\$ 51.12	\$ 306.72	\$ 1,329.12	\$ 1,635.84
17/10/2023	7,217	7,235	18	10	\$ 51.12	\$ 920.16	\$ 511.20	\$ 1,431.36
18/10/2023	7,245	7,260	15	28	\$ 51.12	\$ 766.80	\$ 1,431.36	\$ 2,198.16
19/10/2023	7,288	7,298	10	18	\$ 51.12	\$ 511.20	\$ 920.16	\$ 1,431.36
20/10/2023	7,320	7,335	15	24	\$ 51.12	\$ 766.80	\$ 1,226.88	\$ 1,993.68
21/10/2023	7,359	7,378	19	12	\$ 51.12	\$ 971.28	\$ 613.44	\$ 1,584.72
22/10/2023	7,390	7,402	12	28	\$ 51.12	\$ 613.44	\$ 1,431.36	\$ 2,044.80
23/10/2023	7,430	7,448	18	10	\$ 51.12	\$ 920.16	\$ 511.20	\$ 1,431.36
24/10/2023	7,458	7,463	5	22	\$ 51.12	\$ 255.60	\$ 1,124.64	\$ 1,380.24
25/10/2023	7,485	7,497	12	26	\$ 51.12	\$ 613.44	\$ 1,329.12	\$ 1,942.56
26/10/2023	7,523	7,536	13	26	\$ 51.12	\$ 664.56	\$ 1,329.12	\$ 1,993.68
27/10/2023	7,562	7,578	16	19	\$ 51.12	\$ 817.92	\$ 971.28	\$ 1,789.20
28/10/2023	7,597	7,620	23	25	\$ 51.12	\$ 1,175.76	\$ 1,278.00	\$ 2,453.76
29/10/2023	7,645	7,662	17	23	\$ 51.12	\$ 869.04	\$ 1,175.76	\$ 2,044.80
30/10/2023	7,685	7,699	14	18	\$ 51.12	\$ 715.68	\$ 920.16	\$ 1,635.84
31/10/2023	7,699	7,712	13	30	\$ 51.12	\$ 664.56	\$ 1,533.60	\$ 2,198.16
	7,742					\$ -		
SUMAS			402	624		\$ 19,885.68	\$ 30,365.28	\$ 52,449.12

En la tabla 3, se observan los consumos de agua potable por día que ocuparon para las limpiezas operativas del proceso y el total consumido en el área de proceso(producción) durante el mes de noviembre del año 2023.

Continua. TABLA 3. Datos de consumo de agua. (Fuente. Elaboración propia).

CONSUMO DE AGUA EN LIMPIEZA Y PROCESO DEL MES DE NOVIEMBRE 2023								
FECHA	LECTURA TEMPRANO	LECTURA TARDE	AGUA LIMPIEZA	AGUA PROCESO	COSTO AGUA X M3	COSTO TOTAL LIMPIEZA	COSTO TOTAL PROCESO	COSTO TOTAL
01/11/2023	8,725	8,738	13	18	\$ 51.12	\$ 664.56	\$ 920.16	\$ 1,584.72
02/11/2023	8,756	8,768	12	16	\$ 51.12	\$ 613.44	\$ 817.92	\$ 1,431.36
03/11/2023	8,784	8,800	16	35	\$ 51.12	\$ 817.92	\$ 1,789.20	\$ 2,607.12
04/11/2023	8,835	8,850	15	19	\$ 51.12	\$ 766.80	\$ 971.28	\$ 1,738.08
05/11/2023	8,869	8,883	14	16	\$ 51.12	\$ 715.68	\$ 817.92	\$ 1,533.60
06/11/2023	8,899	8,910	11	10	\$ 51.12	\$ 562.32	\$ 511.20	\$ 1,073.52
07/11/2023	8,920	8,929	9	11	\$ 51.12	\$ 460.08	\$ 562.32	\$ 1,022.40
08/11/2023	8,940	8,953	13	16	\$ 51.12	\$ 664.56	\$ 817.92	\$ 1,482.48
09/11/2023	8,969	8,980	11	20	\$ 51.12	\$ 562.32	\$ 1,022.40	\$ 1,584.72
10/11/2023	9,000	9,011	11	17	\$ 51.12	\$ 562.32	\$ 869.04	\$ 1,431.36
11/11/2023	9,028	9,046	18	24	\$ 51.12	\$ 920.16	\$ 1,226.88	\$ 2,147.04
12/11/2023	9,070	9,080	10	15	\$ 51.12	\$ 511.20	\$ 766.80	\$ 1,278.00
13/11/2023	9,095	9,110	15	18	\$ 51.12	\$ 766.80	\$ 920.16	\$ 1,686.96
14/11/2023	9,128	9,135	7	12	\$ 51.12	\$ 357.84	\$ 613.44	\$ 971.28
15/11/2023	9,147	9,158	11	25	\$ 51.12	\$ 562.32	\$ 1,278.00	\$ 1,840.32
16/11/2023	9,183	9,191	8	26	\$ 51.12	\$ 408.96	\$ 1,329.12	\$ 1,738.08
17/11/2023	9,217	9,230	13	15	\$ 51.12	\$ 664.56	\$ 766.80	\$ 1,431.36
18/11/2023	9,245	9,260	15	26	\$ 51.12	\$ 766.80	\$ 1,329.12	\$ 2,095.92
19/11/2023	9,286	9,298	12	18	\$ 51.12	\$ 613.44	\$ 920.16	\$ 1,533.60
20/11/2023	9,320	9,335	15	20	\$ 51.12	\$ 766.80	\$ 1,022.40	\$ 1,789.20
21/11/2023	9,355	9,378	23	12	\$ 51.12	\$ 1,175.76	\$ 613.44	\$ 1,789.20
22/11/2023	9,390	9,402	12	28	\$ 51.12	\$ 613.44	\$ 1,431.36	\$ 2,044.80
23/11/2023	9,430	9,440	10	13	\$ 51.12	\$ 511.20	\$ 664.56	\$ 1,175.76
24/11/2023	9,453	9,463	10	22	\$ 51.12	\$ 511.20	\$ 1,124.64	\$ 1,635.84
25/11/2023	9,485	9,497	12	23	\$ 51.12	\$ 613.44	\$ 1,175.76	\$ 1,789.20
26/11/2023	9,520	9,536	16	26	\$ 51.12	\$ 817.92	\$ 1,329.12	\$ 2,147.04
27/11/2023	9,562	9,578	16	19	\$ 51.12	\$ 817.92	\$ 971.28	\$ 1,789.20
28/11/2023	9,597	9,620	23	25	\$ 51.12	\$ 1,175.76	\$ 1,278.00	\$ 2,453.76
29/11/2023	9,645	9,660	15	25	\$ 51.12	\$ 766.80	\$ 1,278.00	\$ 2,044.80
30/11/2023	9,685	9,698	13	18	\$ 51.12	\$ 664.56	\$ 920.16	\$ 1,584.72
31/11/2023	9,720	9,735	15	18	\$ 51.12	\$ 766.80	\$ 920.16	\$ 1,686.96
	9,753					\$ -		
SUMAS			414	606		\$ 20,396.88	\$ 30,058.56	\$ 52,142.40

En la tabla 4, están los consumos de agua potable por día que se ocuparon para las limpiezas operativas del proceso y el total consumido en el área de proceso(producción) durante el mes de diciembre del año 2023.

Continua. TABLA 4. Datos de consumo de agua. (Fuente. Elaboración propia).

CONSUMO DE AGUA EN LIMPIEZA Y PROCESO								
FECHA	LECTURA TEMPRANO	LECTURA TARDE	AGUA LIMPIEZA	AGUA PROCESO	COSTO AGUA X M3	COSTO TOTAL LIMPIEZA	COSTO TOTAL PROCESO	COSTO TOTAL
01/12/2023	9,760	9,774	14	22	\$51.12	\$715.68	\$1,124.64	\$1,840.32
02/12/2023	9,796	9,809	13	29	\$51.12	\$664.56	\$1,482.48	\$2,147.04
03/12/2023	9,838	9,856	18	27	\$51.12	\$920.16	\$1,380.24	\$2,300.40
04/12/2023	9,883	9,897	14	31	\$51.12	\$715.68	\$1,584.72	\$2,300.40
05/12/2023	9,928	9,945	17	15	\$51.12	\$869.04	\$766.80	\$1,635.84
06/12/2023	9,960	9,980	20	10	\$51.12	\$1,022.40	\$511.20	\$1,533.60
07/12/2023	9,990	10,005	15	20	\$51.12	\$766.80	\$1,022.40	\$1,789.20
08/12/2023	10,025	10,038	13	17	\$51.12	\$664.56	\$869.04	\$1,533.60
09/12/2023	10,055	10,067	12	13	\$51.12	\$613.44	\$664.56	\$1,278.00
10/12/2023	10,080	10,096	16	22	\$51.12	\$817.92	\$1,124.64	\$1,942.56
11/12/2023	10,118	10,136	18	21	\$51.12	\$920.16	\$1,073.52	\$1,993.68
12/12/2023	10,157	10,177	20	22	\$51.12	\$1,022.40	\$1,124.64	\$2,147.04
13/12/2023	10,199	10,213	14	17	\$51.12	\$715.68	\$869.04	\$1,584.72
14/12/2023	10,230	10,248	18	25	\$51.12	\$920.16	\$1,278.00	\$2,198.16
15/12/2023	10,273	10,289	16	20	\$51.12	\$817.92	\$1,022.40	\$1,840.32
16/12/2023	10,309	10,326	17	19	\$51.12	\$869.04	\$971.28	\$1,840.32
17/12/2023	10,345	10,360	15	23	\$51.12	\$766.80	\$1,175.76	\$1,942.56
18/12/2023	10,383	10,397	14	12	\$51.12	\$715.68	\$613.44	\$1,329.12
19/12/2023	10,409	10,429	20	18	\$51.12	\$1,022.40	\$920.16	\$1,942.56
20/12/2023	10,464	10,486	22	19	\$51.12	\$1,124.64	\$971.28	\$2,095.92
21/12/2023	10,505	10,515	10	21	\$51.12	\$511.20	\$1,073.52	\$1,584.72
22/12/2023	10,536	10,553	17	14	\$51.12	\$869.04	\$715.68	\$1,584.72
23/12/2023	10,567	10,583	16	22	\$51.12	\$817.92	\$1,124.64	\$1,942.56
24/12/2023	10,605	10,618	13	20	\$51.12	\$664.56	\$1,022.40	\$1,686.96
25/12/2023	10,638	10,652	14	26	\$51.12	\$715.68	\$1,329.12	\$2,044.80
26/12/2023	10,678	10,694	16	25	\$51.12	\$817.92	\$1,278.00	\$2,095.92
27/12/2023	10,719	10,734	15	22	\$51.12	\$766.80	\$1,124.64	\$1,891.44
28/12/2023	10,756	10,776	20	27	\$51.12	\$1,022.40	\$1,380.24	\$2,402.64
29/12/2023	10,803	10,818	15	20	\$51.12	\$766.80	\$1,022.40	\$1,789.20
30/12/2023	10,838	10,854	16	18	\$51.12	\$817.92	\$920.16	\$1,738.08
31/12/2023	10,879	10,889	10	21	\$51.12	\$511.20	\$1,073.52	\$1,584.72
	10,910				\$ -			
SUMAS			488	638		\$24,435.36	\$31,541.04	\$57,561.12

Se buscan antecedentes de consumo de agua, la cual solo se encuentran con los pagos realizados al municipio anualmente por la empresa avícola. Ver tabla 5. Se describen los siguientes conceptos.

Contrato: es un acuerdo legal entre dos o más personas para establecer las bases de una relación comercial. En este tipo de contrato se definen los derechos y obligaciones de las partes, y se establecen las condiciones para la ejecución de la transacción.

Ce.co: es una abreviatura de Centro de Costes, una unidad de una empresa que genera costos indirectos, pero que también aporta beneficios o utilidad.

Año: Se puede definir como un periodo de tiempo.

Mes: Conjunto de días consecutivos desde uno señalado hasta otro de igual fecha en el mes siguiente.

Consumo: es la acción de utilizar o gastar un producto, bien o servicio para satisfacer necesidades humanas.

Costo: él costo es un concepto contable que se refiere al valor de los recursos que se consumen para producir bienes o prestar servicios.

m³: Es el volumen que resulta de multiplicar 1 metro de largo por 1 metro de ancho por 1 metro de alto, o sea un cubo de 1 m x 1m x 1m.

En la Tabla 5 de igual forma se muestran los costos y consumos aproximados anualizados a partir del año 2019 al 2023, tal y como se mencionó anteriormente la empresa no contaba con equipo, formatos, procedimientos para poder realizar mediciones de consumo de agua potable en sus procesos.

Contrato	Ce.Co.	Año	Mes	Consumo	Costo	\$/m ³
FT2633	2165	2019	Nov/Dic	3223	\$ 157,098.69	\$ 48.74
FT2633	2165	2020	12	18342	\$ 894,044.11	\$ 48.74
FT2633	2165	2021	12	11338	\$ 541,619.66	\$ 47.77
FT2633	2165	2022	12	15917.2188	\$ 760,370.32	\$ 47.77
FT2633	2165	2023	12	18275.59	\$ 934,248.40	\$ 51.12

Continúa. TABLA 5. Datos de consumo de agua. (Fuente. Elaboración propia).

3.2.3. Determinación de variables de entrada y salida del sistema de recirculación.

Los parámetros de medición de entrada y salida para definir el diseño de simulación se presentan a detalle en la Tabla.

TABLA.6. Parámetros de entrada y salida. (Fuente: elaboración propia.)

VARIABLE DE ENTRADA	VARIABLES DE SALIDA
Tiempo de llenado de tinas	Desperdicio de agua
Temperatura del agua	Productividad
Ciclo de rellenado	
Tiempo de estadía del producto	

3.2.4. Definición del modelo.

El proceso del sistema que se diseñó, se definió con las siguientes actividades:

- Medición de reposición de agua en las tinas.
- Temperatura del agua con producto.
- Estadía del producto en el agua.
- Inspección de nivel de llenado de las tinas
- Numero de ciclos de rellenado de las tinas.

3.2. VERIFICACION DEL MODELO

Una vez terminado de realizar la recolección de datos y medición de consumo de agua, en el proceso, se determinan los gastos operativos representativos, así mismo se realiza una reunión con las personas involucradas en el proyecto para poder presentar un análisis de consumo durante el proceso y se presenta un diseño de mejora en las etapas del proceso.

Una vez culminada la reunión y de presentar análisis, datos estadísticos se pudieron derivar los siguientes puntos:

- Comparando los gastos económicos mensuales de los cuatro meses, coinciden con los pagos realizados por el área de energéticos ya que la diferencia es mínima.
- Se pudo medir y demostrar que durante el proceso donde más se genera pérdida del recurso hídrico es la etapa de enfriado-hidratado.
- El instalar un equipo de refrigeración que nos ayude a bajar la temperatura del agua, para poder reutilizarla nuevamente es muy viable dentro del área de proceso.

De acuerdo a los análisis mostrados, explicados, recolección de datos, tanto como el jefe de área en conjunto con supervisores, se pudo determinar la fiabilidad de continuar con el diseño del sistema de simulación.

3.4 CONTRUCCION DEL PROGRAMA

Un vez verificado y aceptado el modelo de las áreas operativas, jefe responsable de planta y los dos supervisores a cargo, dentro de la empresa Avícola se procede a la selección de los elementos clave que integraron el modelo en Simio, mismos que se describen en la siguiente tabla.⁷

TABLA 7. Elementos del sistema a simular. (Fuente; elaboración propia).

Elementos de Librería en Simio.	Elementos del sistema a simular
Container Entity	Tanque de almacenamiento Roto 1 y 2
Flow Source	Fuente de flujo
Server 1	Tiempo de llenado de Tina 1
Server 2	Tiempo de llenado de Tina 2
Server 3	Tiempo de llenado de Tina 3
Server 4	Tiempo de llenado de Tina 4
Server 5	Tiempo de llenado de Tina 5
Server 6	Tiempo de llenado de Tina 6
Server 7	Tiempo de llenado de Tina 7
Server 8	Tiempo de llenado de Tina 8
Server 9	Tiempo de llenado de Tina 9
Filler	Relleno de tinas
Flow Node	Flujo de agua en tuberías
Flow connector pipe	Conexión entre tuberías de agua
Flowsink	Salida de flujo de agua
Paths	Recorrido de entidades en proceso

Algunas de las principales actividades dentro de la operación a diseñar, se inicia con el encendido de la bomba principal por un operario, la cual coloca una manguera de $\frac{3}{4}$ " para el inicio de llenado de la tina número uno, la cual tarda un promedio entre 30 y 35 minutos en realizar el llenado total de la tina, que consta de una capacidad de 1800 litros, una vez culminando de llenar la primera tina, se procede con la segunda tina, respetando el mismo proceso de llenado y la secuencia, una vez culminando de llegar a segunda a también a su capacidad máxima de 1800 litros, se prosigue con el mismo proceso con cada una de las tinas, respetando el proceso de llenado hasta llegar a la #9, cabe mencionar que todas las tinas se llenan a su capacidad máxima de 1800 litros.

Todas las actividades mencionadas anteriormente se realizan los 7 días de la semana, de manera rutinaria, cabe destacar que algunas de las tinas tienen un ciclo doble, la cual consiste en desechar el agua de las tinas que pasaron de una temperatura de 20°C a 38°C, por los lotes

de producción se distribuyen por pesos y clientes en cada tina lo que genera que las tinas con número,1,3,5 y 9, se reemplace el agua en su totalidad para poder llenarlas nuevamente desde cero, ya que son los primeros lotes que salen para la venta, dando espacio para llenarlas desde cero, para poder enfriar otros lotes de producción que se entregaran posteriormente.

CONSTRUCCION DEL PROGRAMA REAL

Descripción del modelo:

El modelo está compuesto con los siguientes objetos:

- FlowSource
- Flowsink
- Tank
- FlowNode
- FlowConnector
- Pipe
- **El comportamiento del modelo:**
- Está en que el “FlowSource” está determinada como una “Bomba”, la cual esta suministra el agua para el llenado de las tinas al inicio del proceso, la cual manda un flujo constante de 57 litros por minuto y el llenado lo hace de manera secuencial partiendo de la Tina 1 hasta la Tina 9.
- Teniendo todas las tinas llenas a su capacidad de 1800 litros, se inicia un proceso en donde se parte por cerrar el flujo de la “Bomba”. Después de 40-45 minutos se inicia el proceso de recirculación de la tina 1 en el cual se abre su nodo de salida para sacar el agua que ya alcanzo su temperatura alta y se habilitara su nodo de entrada en el cual entrara el agua que paso por el sistema de enfriado para poder bajar la temperatura, esto lo hará entre 20-25 minutos después de esto se cerraran ambos nodos de la tina 1.

- Después de que se hayan cerrado ambos nodos de la Tina 1 se le asigno un Proceso “Delay” igual de 20-25 minutos para que transcurrido este tiempo se iniciara el proceso de recirculación para la Tina 2, en el cual es el mismo que se aplicó a la Tina 1 en el cual durante 20-25 minutos se habilitara su nodo de salida para sacar el agua caliente y se habilitara su nodo de entrada para el ingreso del agua que paso por el sistema de enfriamiento.
- Este proceso este asignado para todas las tinas en el cual se basa en que se suministre agua ya tratada por el sistema de enfriamiento durante 20-25 minutos, y después de la recirculación de esta se cierran y se espere que después de 20-25 minutos se inicie el recircula miento de agua para la siguiente tina.
- **Construcción del modelo:**

Paso 1. Se agrego un objeto FlowSource al área de trabajo y se le cambio el nombre a “Bomba”.

Paso 2. Se añadieron 11 objetos “Tank”, los cuales se les asigaron nombre de; Tina 1, Tina 2, Tina 3, Tina 4, Tina 5, Tina 6, Tina 7, Tina 8, Tina 9, Roto 1 y Roto 2.

Paso 3. Se conecto el nodo de salida del FlowSource “Bomba” a los nodos de entrada “FlowInput” de los objetos Tina 1, Tina 2, Tina 3, Tina 4, Tina 5, Tina 6, Tina 7, Tina 8, Tina 9, mediante un objeto “FlowConnector”.

Una vez realizado el procedimiento mencionado, el modelo adquirió la forma que se presenta en la Figura 1

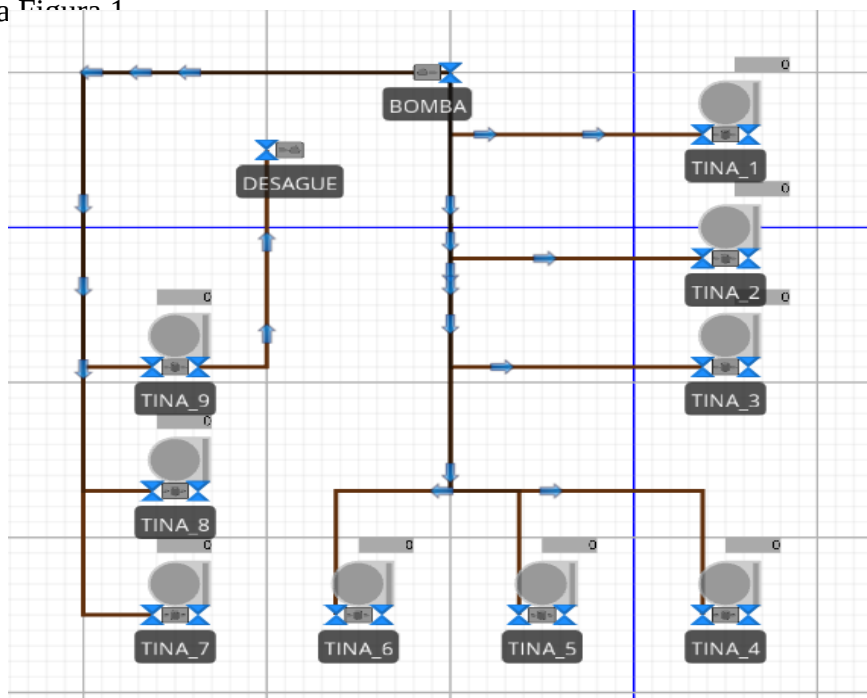


FIGURA 2. Representación del modelo de simulación con los elementos reales del sistema.

Paso 4. Se agrego una “ModelEntity” y se asignó el nombre de “Agua”. También se añadieron 2 “FlowNode” y estos se conectaron a través del objeto “Pipe”.

Paso 5. Se conectaron los nodos de salida “FlowOutput” de los objetos Tina 1, Tina 2, Tina 3, Tina 4, Tina 5, Tina 6, Tina 7, Tina 8, Tina 9, con un “FlowNode” que este será la entrada para el sistema de enfriamiento.

Paso 6. Se conecto el otro objeto “FlowNode” que será la salida del sistema de enfriamiento con los otros objetos “Tank” los cuales serían el Roto 1 y Roto 2.

El modelo quedaría como a siguiente imagen.

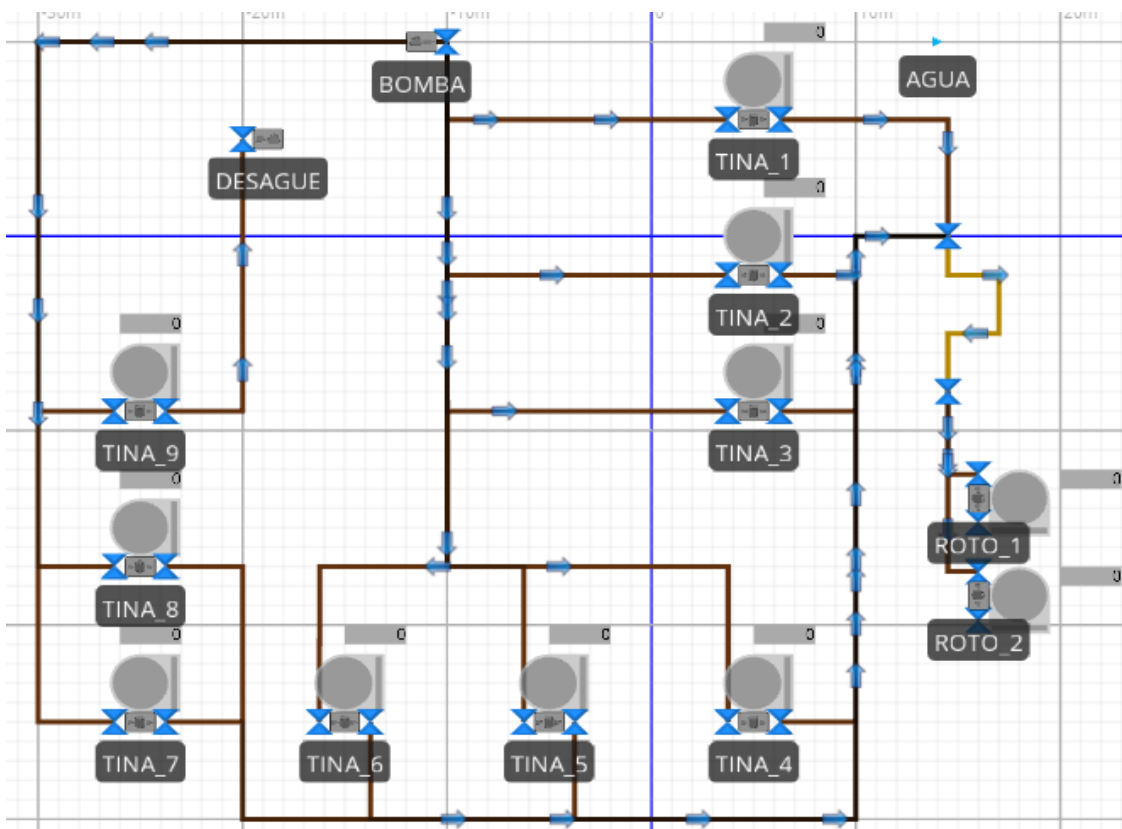


FIGURA 3. Representación del modelo de simulación con los elementos reales del sistema, con el procedimiento mencionado anteriormente.

Paso 7. Se añadió otro objeto “FlowNode” a lado de los objetos Roto 1 y Roto 2. Los cuales se conectó de los nodos de salida de estos hacia el nuevo FlowNode con un “FlowConnector”

Paso 8. Se conecto con un objeto “FlowConnetor“partiendo del nuevo “FlowNode” hacia los “FlowInput” nodos de entrada de los objetos Tina 1, Tina 2, Tina 3, Tina 4, Tina 5, Tina 6, Tina 7, Tina 8, Tina 9.

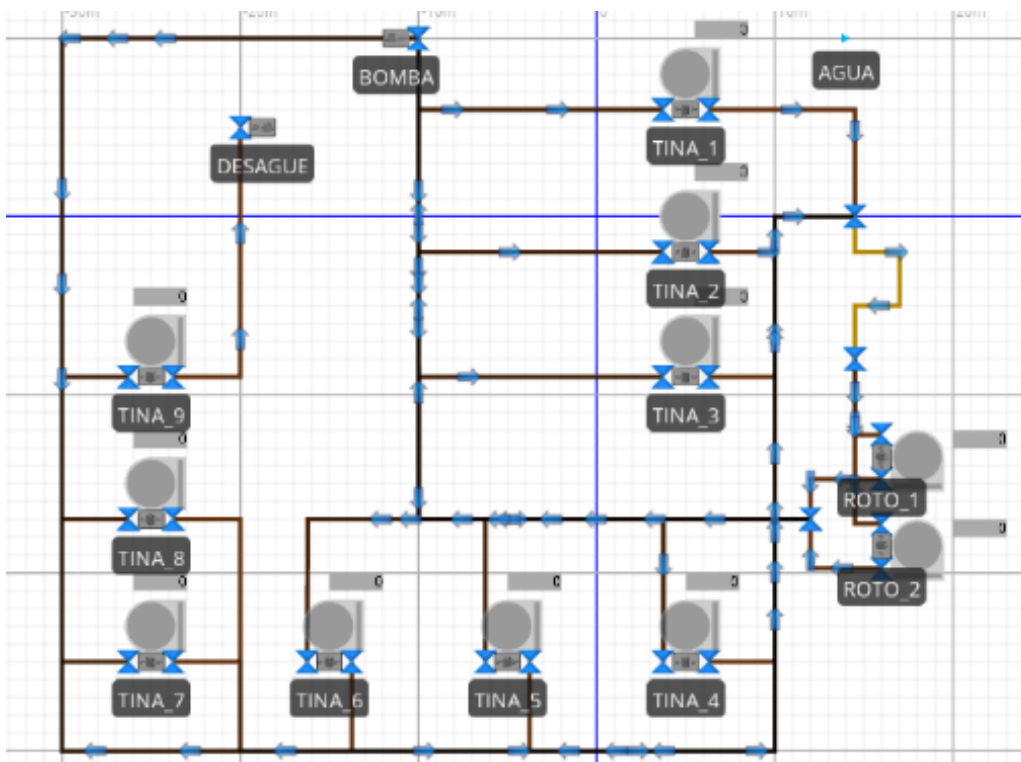


FIGURA 4. Representación del modelo de simulación con los elementos reales del sistema, con el procedimiento y pasos mencionados anteriormente.

- **Programación del Objeto FlowSource**

Paso 1. Seleccioné el “FlowSource”, en sus propiedades Flow Generator Logic / Entity Type asigné la entidad creada como “AGUA”.

Paso 2. Seleccione el nodo de salida “FlowOutput” del objeto “FlowSource” en sus propiedades Flow Regulator Logic / Initial Maximum Flow Rate se le asigno “57” y en sus Units se le asigno “Liters per Minute”.

Paso 3. En sus propiedades Output Flow Control / Split Allocation Rule se le asigno “Preferred Order By Link Weight”.

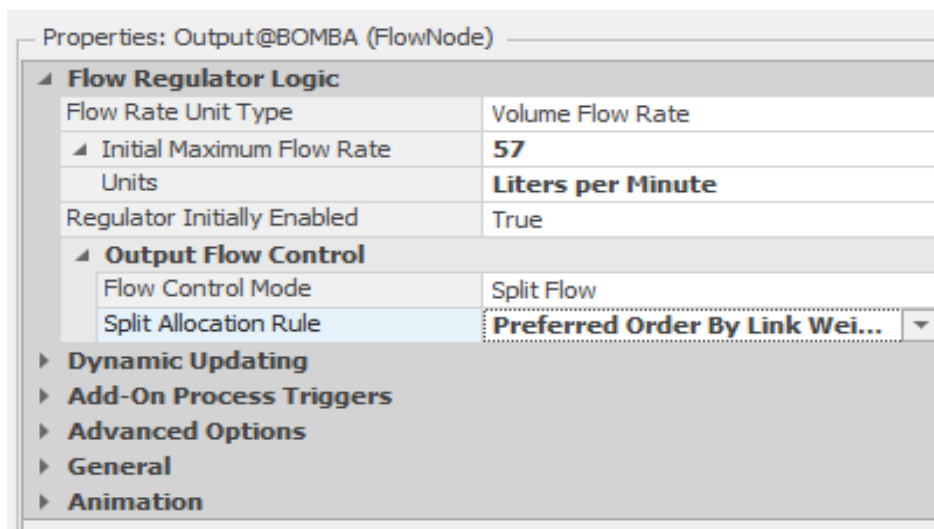
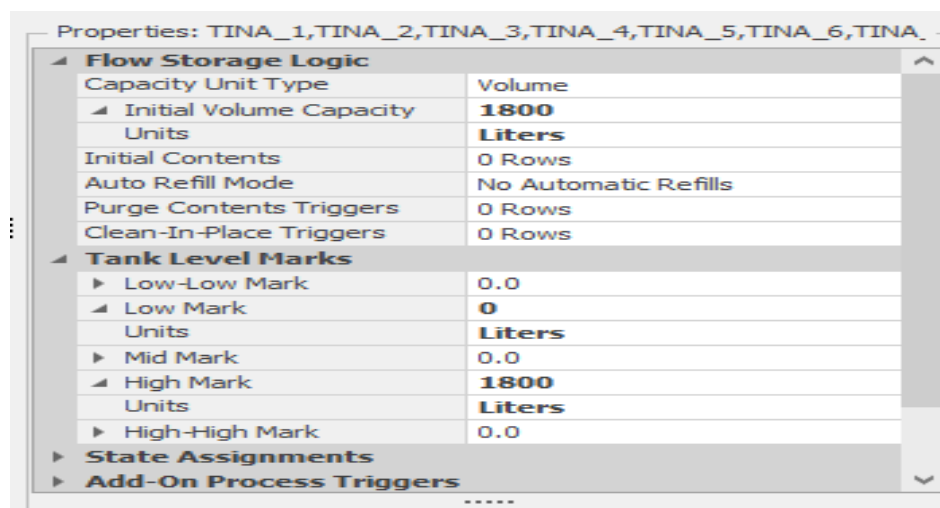


FIGURA 5. Ventana de programación del Objeto FlowSource

- **Programación de los Objetos Tank**

Paso 1. Se seleccionaron los objetos Tina 1, Tina 2, Tina 3, Tina 4, Tina 5, Tina 6, Tina 7, Tina 8, Tina 9. En sus propiedades en Initial Volumen Capacity se le asigno “1800” y en sus Units se le asigno “Liters”.

Paso 2. En sus propiedades Tank Level Marks, en su Low Mark se le asigno “0” y en su Units se le asigno “Liters”. Y en su High Mark se le asigno “1800” y en sus Units se le asigno “Liters”.



Paso 3. Seleccione los nodos de entrada “FlowInput” de los objetos Tina 1, Tina 2, Tina 3, Tina 4, Tina 5, Tina 6, Tina 7, Tina 8, Tina 9. En sus propiedades Flow Regulator Logic / Initial Maximum Flow Rate se le asigno “57” y en sus Units se le asigno “Liters per Minute”.

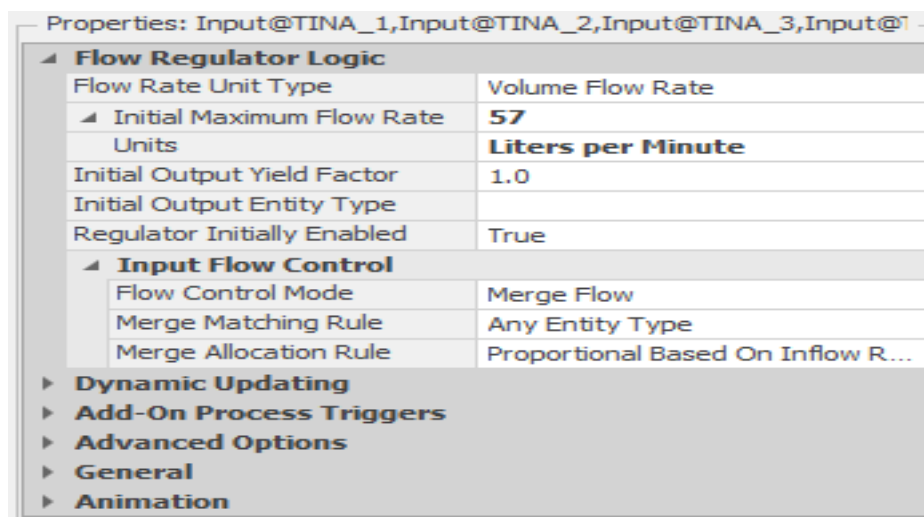


FIGURA 7. Ventana de programación de los nodos de entrada.

Paso 4. Seleccioné los nodos de salida “FlowOuput” de los objetos Tina 1, Tina 2, Tina 3, Tina 4, Tina 5, Tina 6, Tina 7, Tina 8, Tina 9. En sus propiedades Flow Regulator Logic / Initial Maximum Flow Rate se le asigno “50” y en sus Units se le asigno “Liters per Minute”.

Paso 5. En su propiedad Flow Regulator Logic / Regulator Initial Enabled se le asigno “False”.

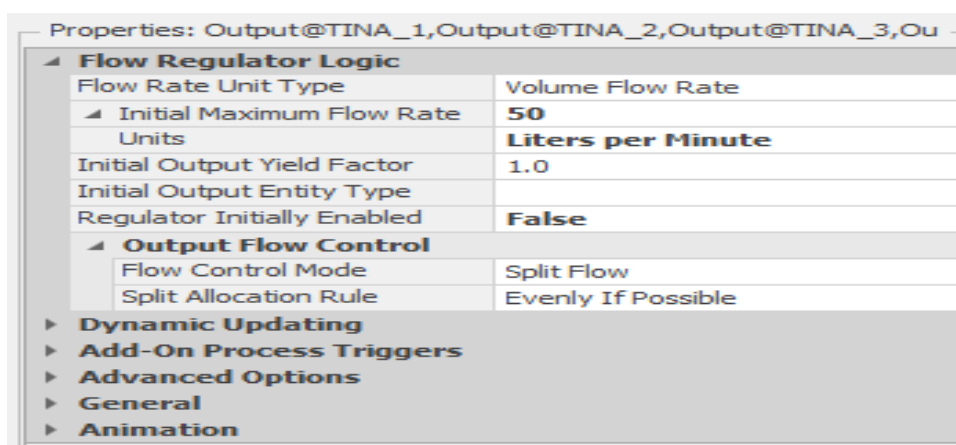


FIGURA 8. Ventana de programación de los nodos de salida.

Paso 6. Seleccione los objetos Roto 1 y Roto 2, En sus propiedades en Initial Volume Capacity se le asigno “2100” y en sus Units se le asigno “Liters”.

Paso 7. En sus propiedades Tank Level Marks, en su Low Mark se le asigno “0” y en su Units se le asigno “Liters”. Y en su High Mark se le asigno “2100” y en sus Units se le asigno “Liters”.

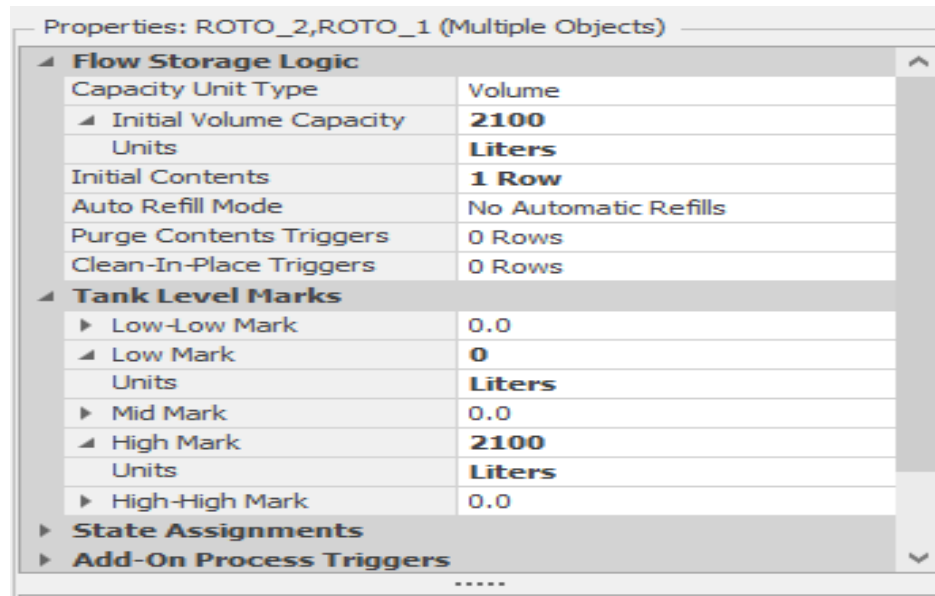


FIGURA 9. Ventana de programación de capacidades totales de los Roto 1 y 2.

Paso 8. Seleccione los nodos de entrada “FlowInput” de los objetos Roto 1 y Roto 2. En sus propiedades Flow Regulator Logic / Initial Maximum Flow Rate se le asigno “57” y en sus Units se le asigno “Liters per Minute”.

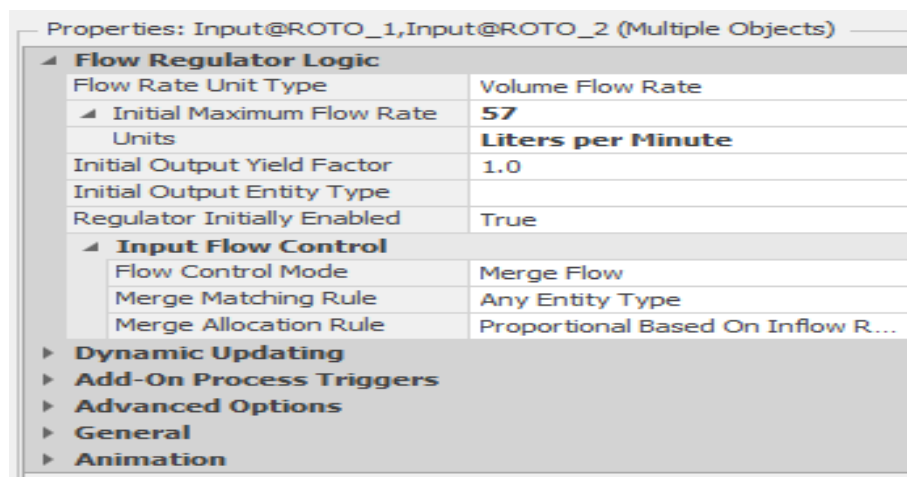


FIGURA 10. Ventana de programación de los nodos de entrada de los Roto 1 y 2.

Paso 9. Seleccione los nodos de salida “FlowOutput” de los objetos Roto 1 y Roto 2. En sus propiedades Flow Regulator Logic / Initial Maximum Flow Rate se le asigne “57” y en sus Units se le asigne “Liters per Minute”.

Paso 10. En su propiedad Flow Regulator Logic / Regulator Initial Enabled se le asigne “False”.

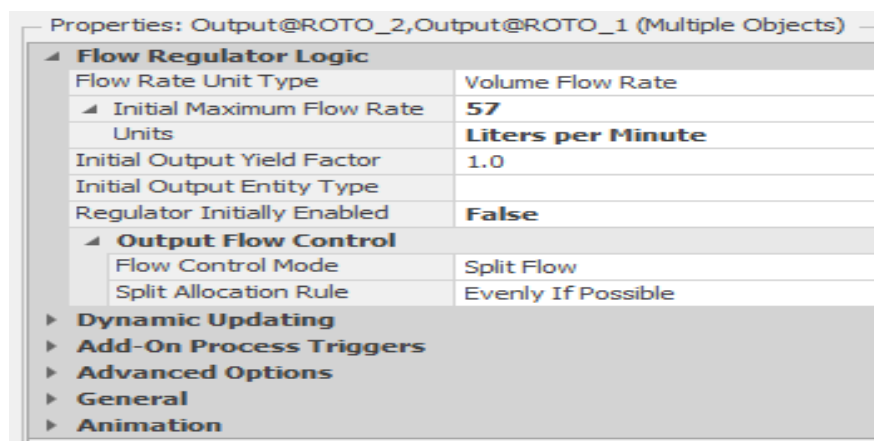


FIGURA 11. Ventana de programación de los nodos de salida de los Roto 1 y 2.

- **Programación del Objeto Pipe**

Paso 1. Se selecciona el objeto Pipe en sus propiedades Flow Transfer Logic / Drawn To Scale se le asigne “False” y en Logical Length se le asigne “7”.

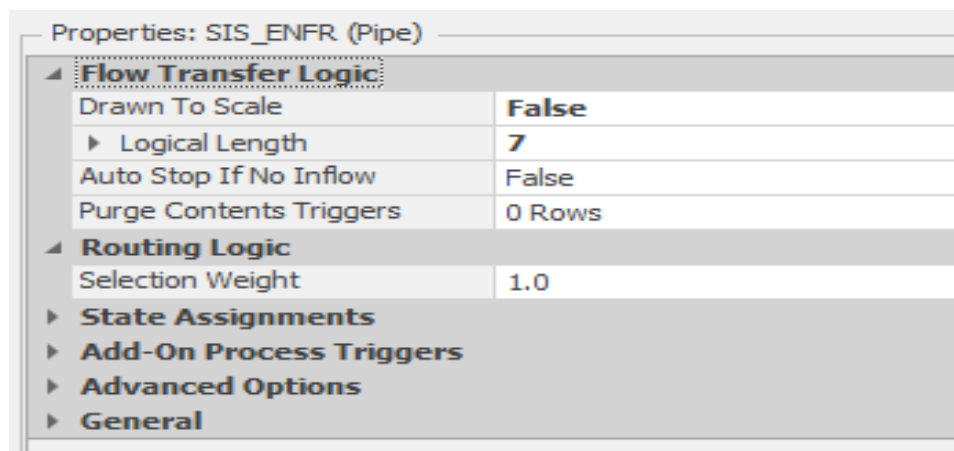


FIGURA 12. Ventana de programación del objeto pipe.

- **Programación de los Connectores**

Paso 1. Se da clic en la ventana “Definitions” y en la ventana “States” agregue 9 estados “Integer” y nómbralas Tanque_1, Tanque_2, Tanque_3, Tanque_4, Tanque_5, Tanque_6, Tanque_7, Tanque_8 y Tanque_9.

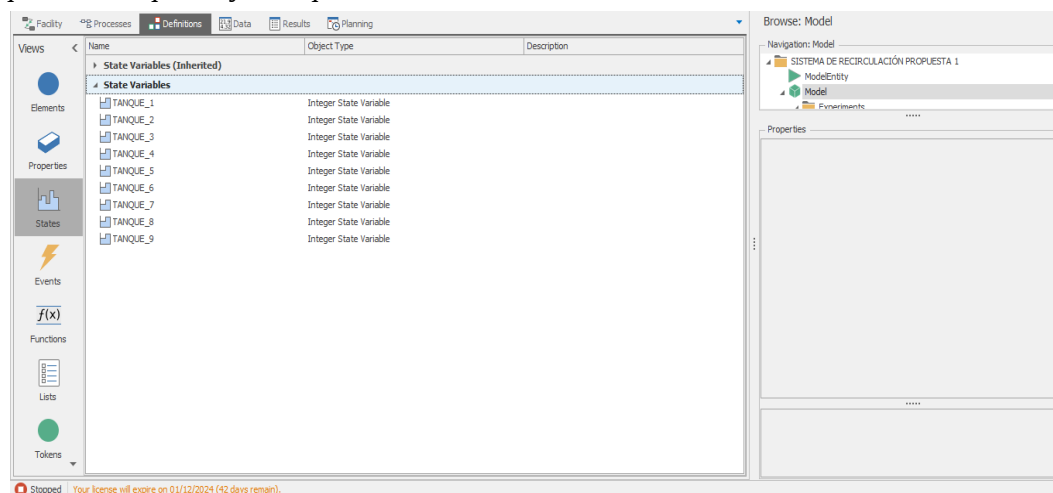


FIGURA 13. Ventana de programación de los nueve estados y se renombran.

Paso 2. Seleccione el “State” Tanque_1 y en sus propiedades Value / Initial State Value asígnele “1”. Revise que en los demás State ese valor siga en “0”.

Paso 3. Regresé a la ventana Facility y seleccioné el “Flowconnector” que conecta el “FlowNode” de los Roto 1 y Roto 2 hacia el nodo de entrada del objeto Tina 1. Y en sus propiedades Routing Logic / Selection Weight asígnele el estado creado con el nombre Tanque_1. Ver. Figura 13.

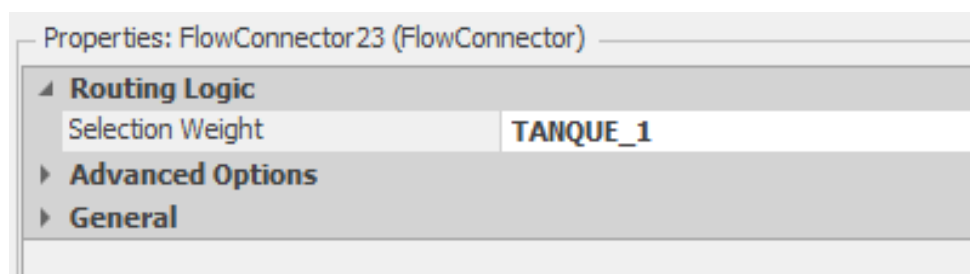


FIGURA 14. Pantalla de programación y sus propiedades de tanque_1.

Paso 4. Repita este paso con los demás estados creados de acuerdo a cada tanque, para el Flowconnector del tanque 2 va asignar el estado con el nombre Tanque_2, sucesivamente así con cada uno.

- **Programación del proceso de recirculación**

Paso 1. Seleccioné la Tina 9, en sus propiedades Add-On Process Triggers / Tank Level Rising de doble click en Above High Mark para crear un proceso. Lo va a mandar a la ventana Process. Ver Figura14.

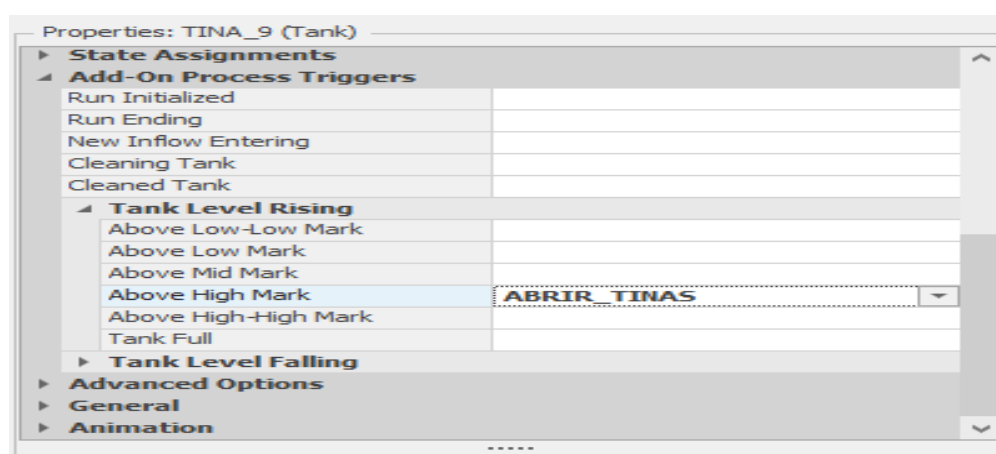


FIGURA 15. Pantalla de programación de tina #9, para crear un proceso.

Paso 2. Una vez en la ventana Process, agregue un Steps “Assign” y en sus propiedades Basic Logic / State Variable Name escriba “Output@BOMBA.FlowRegulator.Enabled” y en su Value asígñale el valor “0”. Este proceso hará que una vez llenada la última tina el suministro de agua proporcionado por el objeto “FlowSource” se cierre. Ver Figura 15.

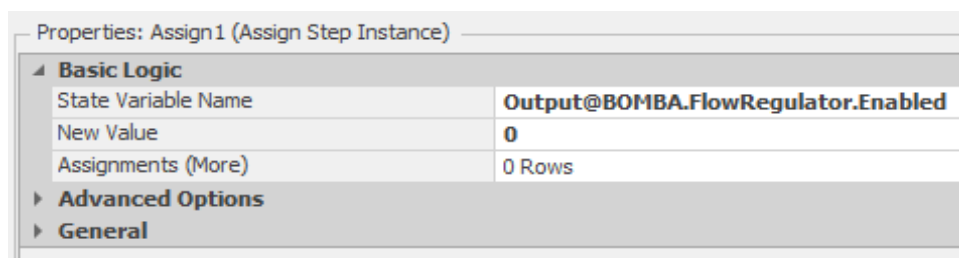


FIGURA 16. Pantalla de programación de llenado de la última tina para cerrar el sistema.

Paso 3. Después del anterior proceso agregue un Steps “Delay” y en sus propiedades Basic Logic / Delay Time escriba “Random.Uniform(40,45)” y en sus Units seleccione “Minute”. Este proceso es un tiempo de retardo en donde el proceso no hará nada hasta que transcurra ese tiempo asignado. Ver figura 16.

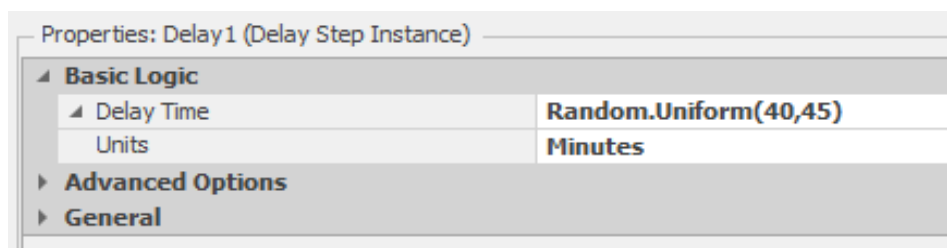


FIGURA 17. Programación del tiempo de llenado de cada una de las tinas.

Paso 4. Agregue un Steps “Assign” y en sus propiedades Basic Logic / State Variable Name escriba “Output@TINA_1.FlowRegulator.Enabled” y en su Value asígnales el valor “1”. Este proceso hará que se habilite el nodo de salida de la tina 1.

Paso 5. En el mismo “Assign” de clic en Assignments (More) y agregue 2 paso más lo cuales serán para abrir los nodos de salida de los Roto 1 y Roto 2. Este proceso hará el proceso del recircula miento para la tina 1. Ver Figura 17.

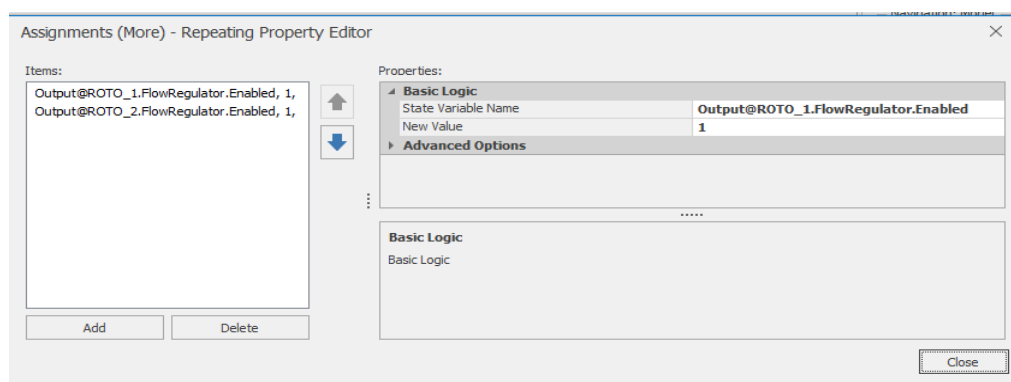


FIGURA 18. Programación de recirculación de agua de tina #1.

Paso 6. Agregue después un Steps “Delay” y en sus propiedades Basic Logic / Delay Time escriba “Random.Uniform(20,25)” y en sus Units seleccione “Minute”. Este proceso es un tiempo de retardo en donde el proceso no hará nada hasta que transcurra ese tiempo asignado. Ver figura 18.

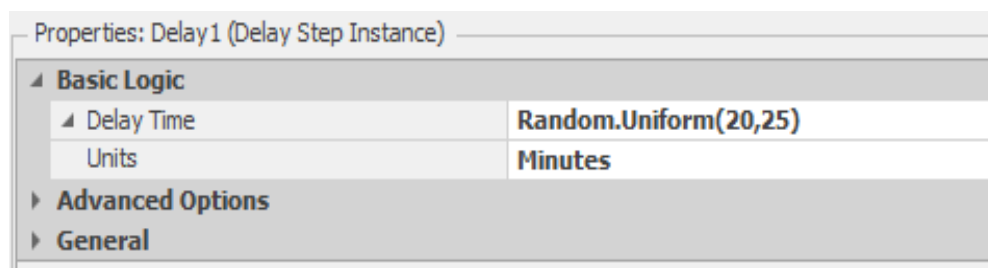


FIGURA 19. Programación de Random Uniform para retardar tiempo de cada tina.

Paso 7. Agregue un Steps “Assing” y en sus propiedades Basic Logic / State Variable Name escriba “Output@TINA_1.FlowRegulator.Enabled” y en su Value asígñale el valor “0”. Este proceso hará que se deshabilite el nodo de salida de la tina 1. Ver figura 19.

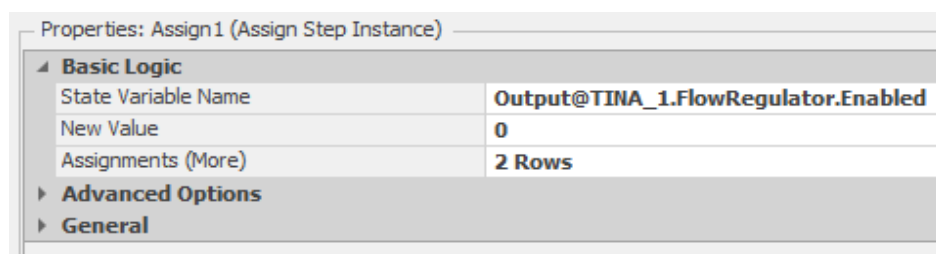


FIGURA 20. Programación para deshabilitar nodo de salida de tinas.

Paso 8. En el mismo “Assign” de clic en Assignments (More) y agregue 2 paso más lo cuales serán para cerrar los nodos de salida de los Roto 1 y Roto 2. Este proceso hará que para el proceso del recircula miento para la tina 1.

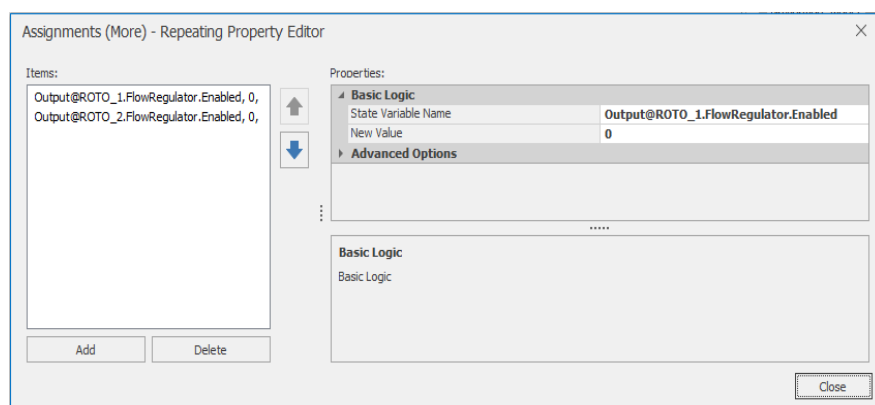


FIGURA 21. Programación para deshabilitar nodo de salida de tinas.

Paso 9. Agregue después un Steps “Delay” y en sus propiedades Basic Logic / Delay Time escriba “Random.Uniform(20,25)” y en sus Units seleccione “Minute”. Este proceso es un tiempo de retardo en donde el proceso no hará nada hasta que transcurra ese tiempo asignado.

Paso 10. Este proceso se repetirá secuencialmente para cada tina.

Una vez concluida la programación de los elementos del modelo de simulación se editó el mismo, el resultado se muestra en Figura 22 y Figura 23.

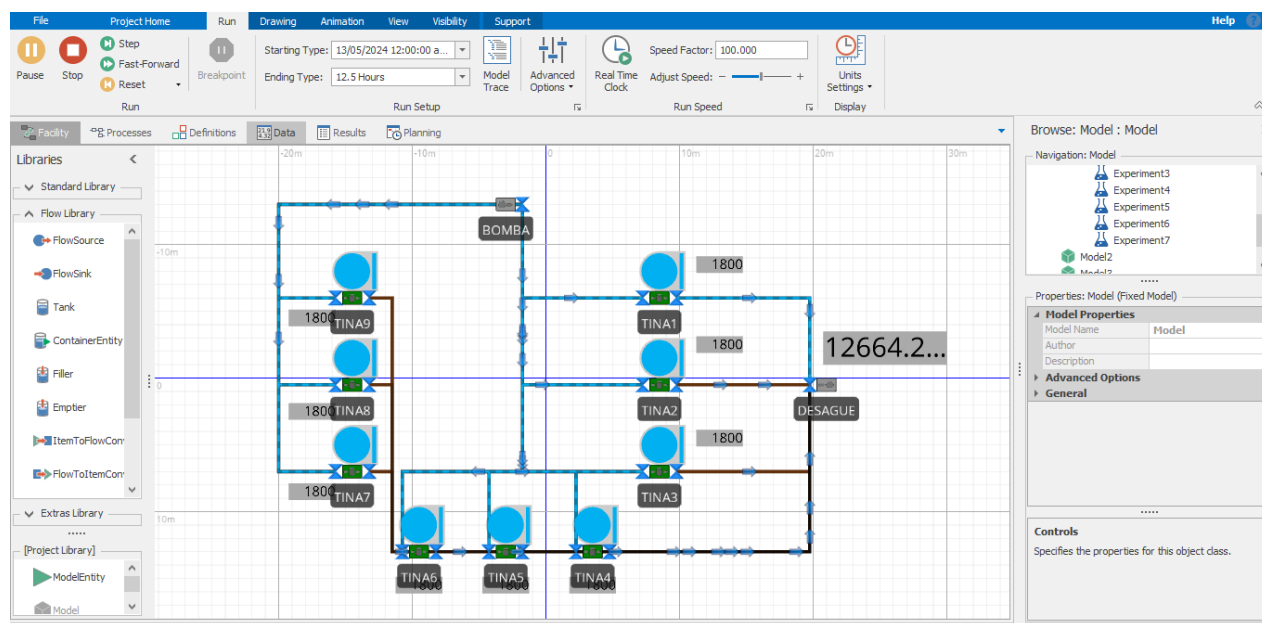


FIGURA 22. Modelo de simulación en la empresa Avícola.

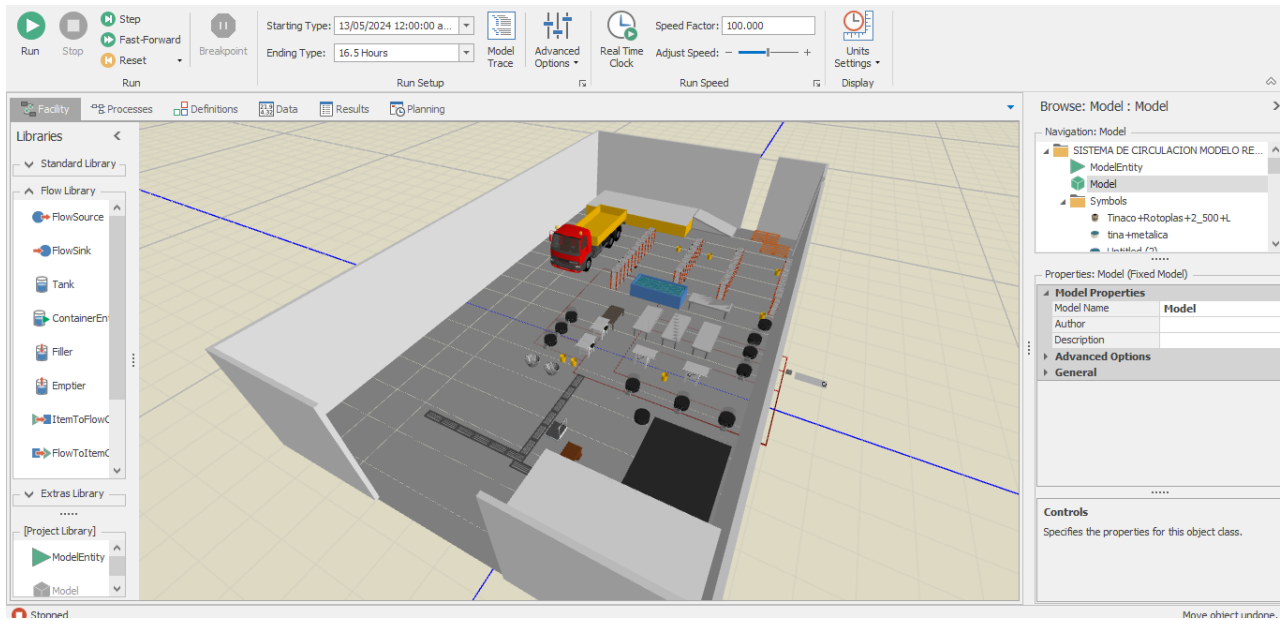


FIGURA 23. Vista superior de Modelo de simulación de la empresa Avícola.

CONSTRUCCION DEL PROGRAMA MEJORADO

De acuerdo al modelo realizado del sistema se recirculación de agua como se encuentra actualmente en la empresa avícola, Ver Figura 22 y 23.

Se procede a realizar el nuevo modelo mejorado, dónde se instala en el programa el equipo de refrigeración y se realizan las interconexiones de todas las tubería de agua para que estas puedan pasar por el equipo de refrigeración que se encargara de bajar la temperatura de la misma, y se pueda ir resguardando esa agua en los tinacos con capacidad cada uno de 2,100 litros cada uno y estos puedan alimentar a cada una de las tinas donde se vaya extrayendo el agua, para poder enfriar el agua en un proceso continuo, así mismo se pueden apreciar las siguientes Figuras 24 y 25.

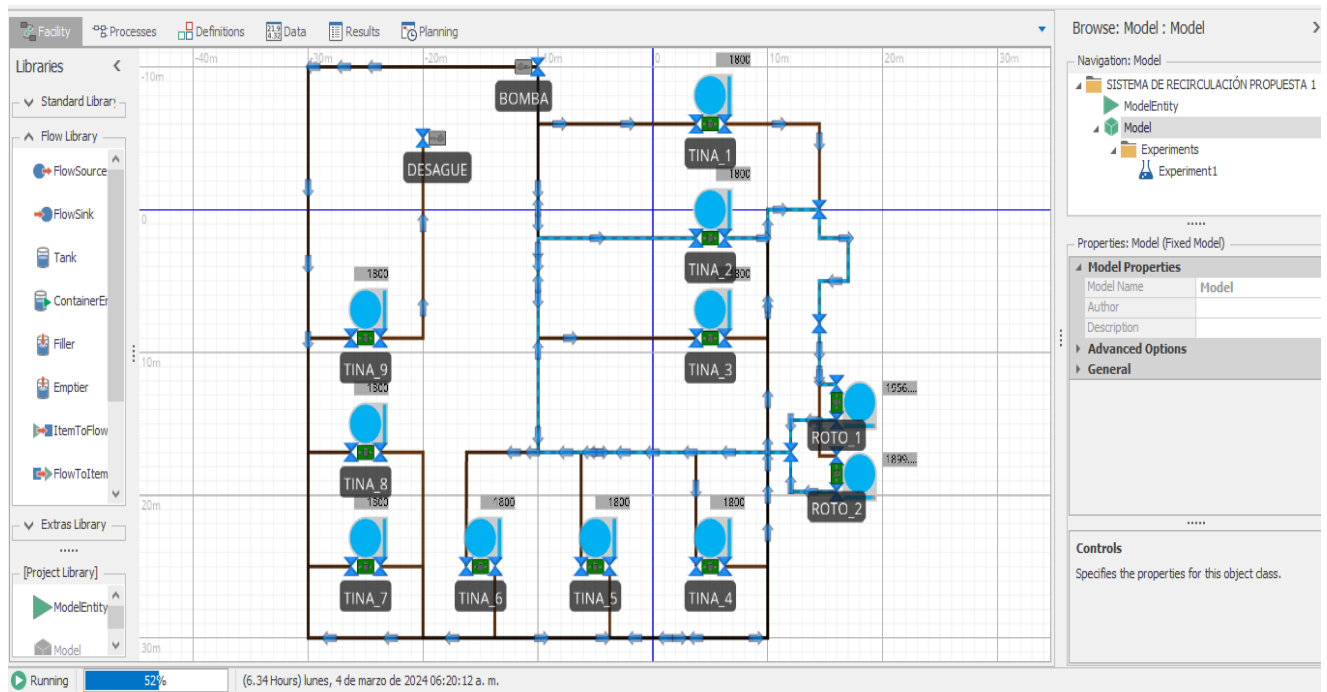


FIGURA24. Modelo mejorado del sistema de recirculación de agua de la empresa Avícola.



FIGURA 25. Modelo mejorado del sistema de recirculación de agua de la empresa Avícola.

3.5 REALIZACION DE PRUEBAS PILOTO

Una vez culminado de realizar el diseño, se realizan pruebas pilotos de corridas para poder identificar y corregir algunas anomalías o deficiencias del diseño que se pudieran afectar al mismo.

Los datos obtenidos durante la experimentación de la simulación en diferentes entidades del tiempo nos muestran la comparación de los escenarios, simulados en diferentes experimentos en días, como resultado obtenemos la tabla número ocho.

TABLA 8. Resultados simulados en diferentes unidades de tiempo. (Fuente: Elaboración propia).

EXPERIMENTO					
	NUMERO DE CORRIDAS POR DIAS EN SIMIO				
#TINAS	Días 10 (m3)	Días 30 (m3)	Días (90) (m3)	Días (180) (m3)	Días 360 (m3)
1	2,660	2,610	2,617	2,614	2,604
2	1,186	1,185	1,176	1,179	1,183
3	2,121	2,125	2,141	2,142	2,149
4	1,293	1,289	1,287	1,293	1,292
5	2,420	2,484	2,474	2,481	2,479
6	1,268	1,346	1,343	1,340	1,343
7	1,534	1,523	1,506	1,507	1,504
8	1,559	1,560	1,557	1,560	1,565
9	3,223	3,236	3,237	3,238	3,238

3.6 VALIDACION DEL PROGRAMA

En este proceso para poder realizar la validación del programa, se comprueba y determina si los datos que arroja el proceso de la simulación son semejantes a los del sistema real recolectados, para ello es necesario realizar una comparación de los resultados de la simulación con los del sistema real, con el objetivo de detallar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos retroalimentados hacia él.

Se utiliza la prueba t-pareada y se observa si el intervalo resultante incluye al cero, de ser afirmativo se dice que el modelo es válido.

Para realizar la prueba t-apareada, 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 j-ésimo conjunto de datos del modelo.

Las X_j 'S son variables aleatorias IID (Independientes e idénticamente distribuidas) 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 corridas diferentes) con media $\mu_y = E(Y_j)$, por lo que se tratará de comparar el modelo con el sistema construyendo un intervalo de confianza para:

$$Z = \mu_X - \mu_Y \text{ Ecuación (3)}$$

Se requiere que $m = n$.

A continuación, se muestran las ecuaciones para la estimación de la prueba t-apareada:

$$Z_i = X_i \text{ Ecuación (4)}$$

$$\bar{Z}_{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n} \text{ Ecuación (5)}$$

$$\widehat{Var}[\bar{Z}_{(n)}] = \frac{\sum_{i=1}^n [Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2}{n(n-1)} \text{ Ecuación (6)}$$

El intervalo de confianza es $(100(1 - \alpha))$:

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1, \frac{1-\alpha}{2}} \sqrt{\widehat{Var}[\bar{Z}_{(n)}]} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Sea $l(\alpha)$ y $u(\alpha)$ el límite de confianza inferior y superior respectivamente. Si $\phi \notin [l(\alpha), u(\alpha)]$ entonces la diferencia observada entre μ_x y μ_y :

$$\bar{X}(n) - \bar{Y}(n) \quad \text{Ecuación (8)}$$

Se dice que es estadísticamente significativa al nivel “ α ”. Esto es equivalente a rechazar la hipótesis nula:

$$H_0: \mu_x = \mu_y \quad \text{Ecuación (9)}$$

En favor de la alternativa:

$$H_a: \mu_x \neq \mu_y \quad \text{Ecuación (10)}$$

Si $\phi \in [l(\alpha), u(\alpha)]$, si existe alguna diferencia observada entre μ_x y μ_y no es estadísticamente significativa al nivel “ α ” esta puede explicada por algunas fluctuaciones aleatorias, aceptando de este modo que el modelo si es válido.

Para poder realizar el siguiente desarrollo, se realiza el siguiente proceso para poder realizar la comprobación de hipótesis de acuerdo en función de las diferencias de las muestras.

Variable x= Le designaremos el nombre (datos reales).

Variable y= Le designaremos el nombre (datos simulados).

Para la prueba T-de student: muestras relacionadas, donde se pueden plantear diferentes hipótesis, que pueden ser bilateral o hipótesis unilaterales con cola a la derecha con cola a la izquierda, dónde;

Estadístico de prueba;

t= promedio de las diferencias, entre la desviación estándar de las diferencias, dividido entre la raíz de n.

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}}$$

Al momento de plantear la hipótesis se plante en función a las diferencias. Dónde,

Ho: Que la media de la (x) es igual a la media de variable (y). Se determinará como (Hipótesis nula)

Ha: Las medias son diferentes. Se determinará como (Hipótesis Alternativa).

Para poder determinar la hipótesis determinados los siguientes elementos.

t= estadístico t calculado.

d= promedio de las diferencias.

Sd= desviación estándar de las diferencias.

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

Para ello vamos determinar las diferencias de las variables (x) y (y).

$\bar{d}$ = Las diferencias estadísticamente significativas te indican si las respuestas de un grupo son sustancialmente distintas de las respuestas de otro grupo mediante el uso de una prueba estadística.

Una vez determinadas las diferencias entre las variables (x) y (y). Procedemos a determinar la desviación estándar muestral.

Sd=La desviación estándar mide la dispersión de un conjunto de datos. Una desviación estándar alta indica una gran dispersión de los valores de los datos, mientras que una desviación estándar baja indica una dispersión angosta de los valores agrupados en torno a la media del conjunto de datos.

n=Cantidad de elementos que se están considerando para la obtención de las muestras, este caso fueron nueve tinas que se evaluaron, durante el proceso.

posterior a ello calcularemos los grados de libertad que es:

gl = (n-1) =se define normalmente como el número de observaciones que son libres de variar, dada una o más restricciones matemáticas, en un conjunto de valores utilizados para estimar alguna característica de la población.

α =El nivel de significancia, también denotado como alfa o α , es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. Por ejemplo, un nivel de significancia de 0.05 indica un riesgo de 5% de concluir que existe una diferencia cuando en realidad no hay ninguna diferencia.

El p-valor, es un valor de probabilidad, por lo que oscila entre 0 y 1. El valor p nos muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado que hemos obtenido suponiendo que la hipótesis nula H_0 es cierta.

El valor t crítico es un valor que se utiliza para definir el umbral de significancia y los límites de los intervalos de confianza en ciertas pruebas estadísticas. Se compara con el valor t de una prueba t calculada para comprobar una hipótesis.

En las siguientes tablas, 11, 13, 15 y 17, se puede apreciar el desperdicio de agua que se tiene durante las jornadas de producción, la cual se le conoce como datos reales a si mismo se comparan con los datos simulados, que se obtuvieron en cada una de las corridas por

diferentes unidades del tiempo, durante la ejecución de la simulación. La cual se determina donde el p-valor con una cola a la derecha se aproxima más al cero obtenido que la hipótesis en nula concluyendo que en los dos grupos no hay gran diferencia significativa.

Tabla 9. Datos apareados de la variable del tiempo de recirculación en 10 días.

Tina	Datos reales	Datos simulados	Diferencia
1	2850	2,660	190.0
2	1254	1,186	67.8
3	2280	2,121	159.0
4	1368	1,293	75.4
5	2622	2,420	201.8
6	1425	1,268	157.2
7	1596	1,534	61.7
8	1653	1,559	93.9
9	3420	3,223	197.4

Para poder determinar los valores se realizo el siguiente proceso mostrado a continuación donde la simulación de efectuó en 10 días en el programa se procedió a determinar los siguientes valores;

- 1.- Se determina el promedio de la $\bar{d}$
- 2.-Se determina la desviación estándar muestral.

$$s_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

- 3.-Cantidad de elementos de la diferencia de **n**.
- 4.- Como es una prueba unilateral (V.critico).

$$t_{(1-\alpha),(n-1)}$$

- 5.- **t** estadístico de prueba, promedio de las diferencias / la desviación estándar/ raíz de **n**.

6.- p-valor es la probabilidad asociada al estadístico de prueba, que es mucho mayor, ya que este se encuentra más hacia adentro de la curva.

PRUEBA DE HIPÓTESIS

Estadístico de prueba

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n-1}}$$

$$= \frac{133.8025}{\sqrt{58.698281 / 9}}$$

1 cola
2 cola

t = 6.83848877 19.566094

Valor crítico:

gl = (n-1) = 8
α = 0.05 5%

$t_{(1-\alpha), (n-1)}$ = 1.859548
1 cola p-valor = 0.000066264
2 colas p-valor = 0.000132529 t critica 2.3060041

Tabla10.Comprobación de datos apareados de los 10 días con Excel.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Datos</i>	<i>simio</i>
Media	2052	1918.197
Varianza	593754.75	521428.3
Observaciones	9	9
Coeficiente de correlación de Pearson	0.999013679	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	6.838488769	
P(T<=t) una cola	0.000066264	
Valor crítico de t (una cola)	1.859548038	
P(T<=t) dos colas	0.000132529	
Valor crítico de t (dos colas)	2.306004135	

Decisión:	Se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la alterna, concluyendo que los 2 grupos no tiene una diferencia significativa en sus promedios con un 90% de confianza en 2 colas y con 1 cola al 95%.
-----------	--

Tabla 11. Datos apareados de la variable del tiempo de recirculación en 30 días.

Tina	Datos reales	Datos simulados	Diferencia
1	2850	2,610	239.5
2	1254	1,185	68.8
3	2280	2,125	154.8
4	1368	1,289	79.3
5	2622	2,484	137.9
6	1425	1,346	78.8
7	1596	1,523	73.2
8	1653	1,560	92.6
9	3420	3,236	184.4

Para poder determinar los valores se realizó el siguiente proceso mostrado a continuación donde la simulación de efectuó en 30 días en el programa se procedió a determinar los siguientes valores;

1.- Se determina el promedio de la $\bar{d}$

2.-Se determina la desviación estándar muestral.

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

3.-Cantidad de elementos de la diferencia de **n**.

4.- Como es una prueba unilateral (V.critico).

$$t_{(1-\alpha),(n-1)}$$

5.- **t** estadístico de prueba, promedio de las diferencias / la desviación estándar/ raíz de **n**.

6.- p-valor es la probabilidad asociada al estadístico de prueba, que es mucho mayor, ya que este se encuentra más hacia adentro de la curva.

PRUEBA DE HIPÓTESIS

Estadístico de prueba

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}}$$

$$= 123.2607$$

$$n = 9$$

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} = 59.983058$$

1 cola

$$t = 6.16477518$$

2 cola

Valor crítico:	gl = (n-1) =	8		
	$\alpha =$	0.05	5%	
	$t_{(1-\alpha), (n-1)}$	=	1.859548	
1 cola	p-valor =	0.0001348		
2 colas	p-valor =	0.000269599	t critica	2.30600415

Tabla12.Comprobación de datos apareados de los 30 días con Excel.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Datos</i>	<i>simio</i>
Media	2052	1928.739
Varianza	593754.75	515252.2
Observaciones	9	9
Coeficiente de correlación de Pearson	0.999262337	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	6.164775181	
P(T<=t) una cola	0.0001348	
Valor crítico de t (una cola)	1.859548038	
P(T<=t) dos colas	0.000269599	
Valor crítico de t (dos colas)	2.306004135	

Decisión:	Se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la alterna, concluyendo que los 2 grupos no tiene una diferencia significativa en sus promedios con un 90% de confianza en 2 colas y con 1 cola al 95%.
-----------	--

Tabla 13. Datos apareados de la variable del tiempo de recirculación en 90 días.

Tina	Datos reales	Datos simulados	Diferencia
1	2850	2,617	233
2	1254	1,176	78
3	2280	2,141	139
4	1368	1,287	81
5	2622	2,474	148
6	1425	1,343	82
7	1596	1,506	90
8	1653	1,557	96
9	3420	3,237	183

Para poder determinar los valores se realizó el siguiente proceso mostrado a continuación donde la simulación de efectuó en 90 días en el programa se procedió a determinar los siguientes valores;

- 1.- Se determina el promedio de la $\bar{d}$
- 2.-Se determina la desviación estándar muestral.

$$s_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

- 3.-Cantidad de elementos de la diferencia de **n**.
- 4.- Como es una prueba unilateral (V.critico).

$$t_{(1-\alpha),(n-1)}$$

- 5.- **t** estadístico de prueba, promedio de las diferencias / la desviación estándar/ raíz de **n**.
- 6.- p-valor es la probabilidad asociada al estadístico de prueba, que es mucho mayor, ya que este se encuentra más hacia adentro de la curva.

PRUEBA DE HIPÓTESIS

Estadístico de prueba

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}}$$

$$= 125.6226$$

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n-1}} = 54.611135$$

$$n = 9$$

1 cola

$$t = 6.90093449$$

2 cola

Valor crítico:

$$gl = (n-1) = 8$$

$$\alpha = 0.05 \quad 5\%$$

$$t_{(1-\alpha), (n-1)} = 1.859548$$

1 cola p-valor = 0.000062206

2 colas p-valor = 0.000124411 t critica 2.30600415

Tabla 14. Comprobación de datos apareados de los 90 días con Excel.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	<i>Datos</i>	<i>simio</i>
Media	2052	1926.377
Varianza	593754.75	520767.1
Observaciones	9	9
Coeficiente de correlación de Pearson	0.999469571	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	6.900934491	
P(T<=t) una cola	0.000062206	
Valor crítico de t (una cola)	1.859548038	
P(T<=t) dos colas	0.000124411	
Valor crítico de t (dos colas)	2.306004135	

Decisión:	Se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la alterna, concluyendo que los 2 grupos no tiene una diferencia significativa en sus promedios con un 90% de confianza en 2 colas y con 1 cola al 95%.
-----------	--

Tabla 15. Datos apareados de la variable del tiempo de recirculación en 180 días.

Tina	Datos reales	Datos simulados	Diferencia
1	2850	2,614	236
2	1254	1,179	75
3	2280	2,142	138
4	1368	1,293	75
5	2622	2,481	141
6	1425	1,340	85
7	1596	1,507	89
8	1653	1,560	93
9	3420	3,238	182

Para poder determinar los valores se realizó el siguiente proceso mostrado a continuación donde la simulación de efectuó en 180 días en el programa se procedió a determinar los siguientes valores;

- 1.- Se determina el promedio de la $\bar{d}$
- 2.-Se determina la desviación estándar muestral.

$$s_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

- 3.-Cantidad de elementos de la diferencia de **n**.
- 4.- Como es una prueba unilateral (V.critico).

$$t_{(1-\alpha),(n-1)}$$

- 5.- **t** estadístico de prueba, promedio de las diferencias / la desviación estándar/ raíz de **n**.
- 6.- p-valor es la probabilidad asociada al estadístico de prueba, que es mucho mayor, ya que este se encuentra más hacia adentro de la curva.

PRUEBA DE HIPÓTESIS

Estadístico de prueba

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= 123.8190$$

$$n = 9$$

$$s_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} = 55.912419$$

1 cola

$$t = 6.64355210$$

2 cola

Valor crítico:

$$gl = (n - 1) = 8$$

$$\alpha = 0.05 \quad 5\%$$

$$t_{(1-\alpha), (n-1)} = 1.85954804$$

1 cola p-valor = 0.00008

2 colas p-valor = 0.000161886 t critica 2.30600415

Tabla16.Comprobación de datos apareados de 180 días con Excel.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	<i>Datos</i>	<i>simio</i>
Media	2052	1928.181
Varianza	593754.75	519919.3
Observaciones	9	9
Coeficiente de correlación de Pearson	0.99939175	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	6.6435521	
P(T<=t) una cola	0.00008	
Valor crítico de t (una cola)	1.85954804	
P(T<=t) dos colas	0.00016189	
Valor crítico de t (dos colas)	2.30600414	

Decisión:	Se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la alterna, concluyendo que los 2 grupos no tiene una diferencia significativa en sus promedios con un 90% de confianza en 2 colas y con 1 cola al 95%.
-----------	--

Tabla 17. Datos apareados de la variable del tiempo de recirculación en 360 días.

Tina	Datos reales	Datos simulados	Diferencia
1	2850	2,604	246
2	1254	1,183	71
3	2280	2,149	131
4	1368	1,292	76
5	2622	2,479	143
6	1425	1,343	82
7	1596	1,504	92
8	1653	1,565	88
9	3420	3,238	182

Para poder determinar los valores se realizó el siguiente proceso mostrado a continuación donde la simulación de efectuó en 360 días en el programa se procedió a determinar los siguientes valores;

- 1.- Se determina el promedio de la $\bar{d}$
- 2.-Se determina la desviación estándar muestral.

$$s_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

- 3.-Cantidad de elementos de la diferencia de **n**.
- 4.- Como es una prueba unilateral (V.critico).

$$t_{(1-\alpha),(n-1)}$$

- 5.- **t** estadístico de prueba, promedio de las diferencias / la desviación estándar/ raíz de **n**.
- 6.- p-valor es la probabilidad asociada al estadístico de prueba, que es mucho mayor, ya que este se encuentra más hacia adentro de la curva.

PRUEBA DE HIPÓTESIS

Estadístico de prueba

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= 123.5051$$

$$n = 9$$

$$s_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} = 59.001170$$

1 cola

$$t = 6.27979632$$

2 cola

Valor crítico:

$$gl = (n - 1) = 8$$

$$\alpha = 0.05 \quad 5\%$$

$$t_{(1-\alpha), (n-1)} = 1.85954804$$

1 cola p-valor = 0.00012

2 colas p-valor = 0.000237916 t critica 2.30600415

Tabla18.Comprobación de datos apareados de 360 días con Excel.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	<i>Datos</i>	<i>simio</i>
Media	2052	1928.495
Varianza	593754.75	517459.3
Observaciones	9	9
Coeficiente de correlación de Pearson	0.999225288	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	6.279796324	
P(T<=t) una cola	0.000118958	
Valor crítico de t (una cola)	1.859548038	
P(T<=t) dos colas	0.000237916	
Valor crítico de t (dos colas)	2.306004135	

Decisión:	Se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la alterna, concluyendo que los 2 grupos no tiene una diferencia significativa en sus promedios con un 90% de confianza en 2 colas y con 1 cola al 95%.
-----------	--

Determinación del número óptimo de corridas del modelo. La Tabla 19 muestra los resultados de 30 corridas piloto década una de las tinas la cual se obtuvieron los siguientes datos al correr el programa de simulación.

Tabla 19. Datos simulados del tiempo de desperdicio de agua (m³). (Fuente: Elaboración propia).

Replicación		Desecho de agua por 3 meses
1		0.261
2		0.1185
3		0.2125
4		0.1289
5		0.2484
6		0.1346
7		0.1523
8		0.156
9		0.3236
Media		0.192866667
varianza		0.00515309

Se estimó el tiempo promedio de desperdicio de agua en tres meses (0.1928) m³, con un error absoluto 1.011 m³ de perdida de agua con un ($\beta=0.25$) y un nivel de confianza del 95% ($\alpha=5\%$).

Tabla 20. Cálculo del número de réplicas óptimas mediante ecuación de Law y Kelton (2000). (Fuente: Elaboración propia).

i	$t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2_{(n)}}{i}}$	β	Conclusión
10	2.306004135	0.052347259	FALSO
11	2.228138852	0.048225837	FALSO
12	2.20098516	0.04561003	FALSO
13	2.17881283	0.043379257	FALSO
14	2.160368656	0.04144744	FALSO
15	2.144786688	0.039753223	FALSO
16	2.131449546	0.03825154	FALSO
17	2.119905299	0.036908455	FALSO
18	2.109815578	0.035697854	FALSO
19	2.10092204	0.034599275	FALSO
21	2.085963447	0.032676152	FALSO
22	2.079613845	0.031827698	FALSO
23	2.073873068	0.031042173	FALSO
24	2.06865761	0.030312158	FALSO
25	2.063898562	0.029631403	FALSO
26	2.059538553	0.0289946	FALSO
27	2.055529439	0.028397211	FALSO
28	2.051830516	0.027835327	FALSO
29	2.048407142	0.027305564	FALSO
30	2.045229642	0.026804969	FALSO
31	2.042272456	0.02633096	FALSO
32	2.039513446	0.025881262	FALSO
33	2.036933343	0.025453864	FALSO
34	2.034515297	0.02504698	FALSO
35	2.032244509	0.024659019	VERDADERO

Derivado de lo anterior, el número de réplicas óptimo es de 35 corridas del programa, cabe mencionar que para proyectar el nuevo sistema se corrió el programa hasta 360 días.

3.7 CORRIDA DEL PROGRAMA

Para poder realizar las corridas del programa se llevó a cabo el siguiente proceso:

1. Teniendo el modelo en la facility, se seleccionó el menú Project Home / new experiment. De lo anterior se visualiza la ventana mostrada en la Figura, en la opción Replications se ingresó el número 10,30,90,180 y 360, que corresponde a número de réplicas obtenido del diseño de experimentos. Previo a ello, se ajustó el tiempo de simulación a o 12.5, que corresponde a la jornada laboral dentro de la planta

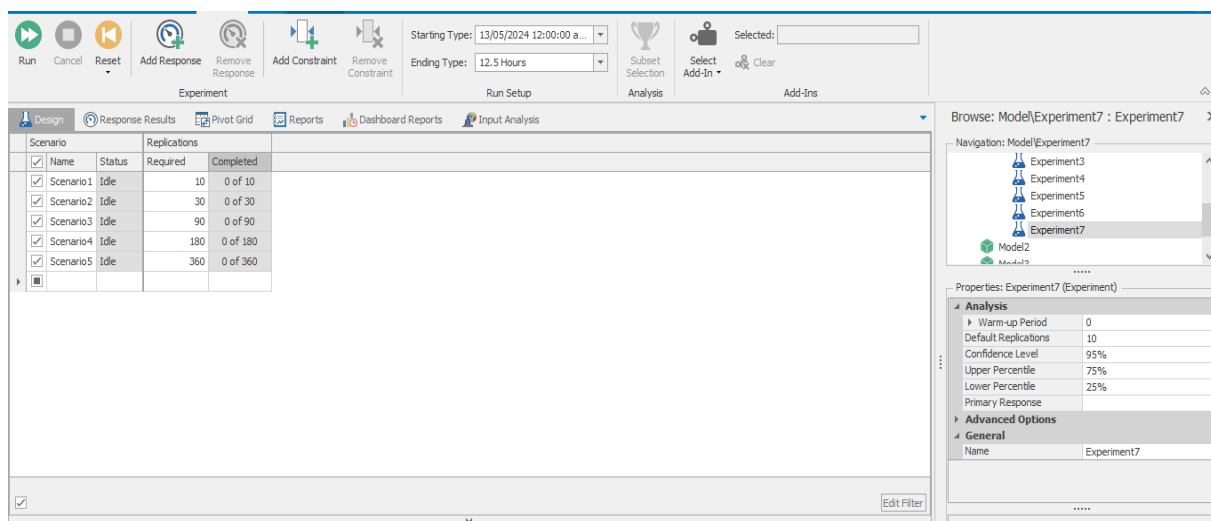


Figura 24. Menú diseño en Simio para realizar la simulación de los escenarios.

2. En el menú Design se selecciona la opción Run, una vez colocado el número de réplicas a ejecutarse en los escenarios. Allí es posible observar las corridas del sistema que llevó a cabo Simio.

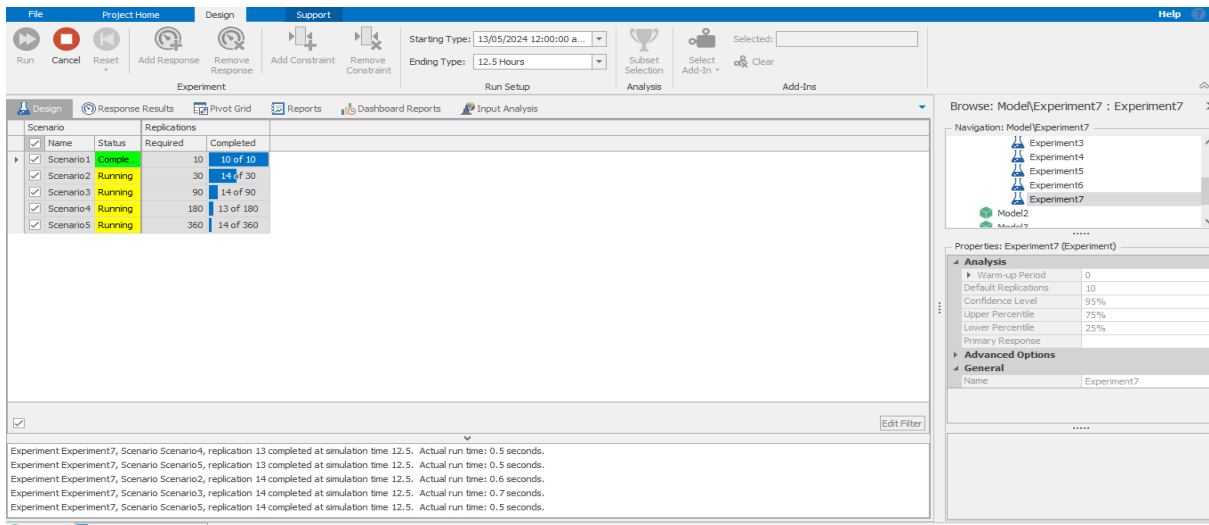


Figura 25. Menú diseño de Simio, ejecución de las réplicas del modelo.

3. El tiempo de ejecución de las corridas y los 5 escenarios fue de 383.5segundos, tal como se muestra en la Figura 34.

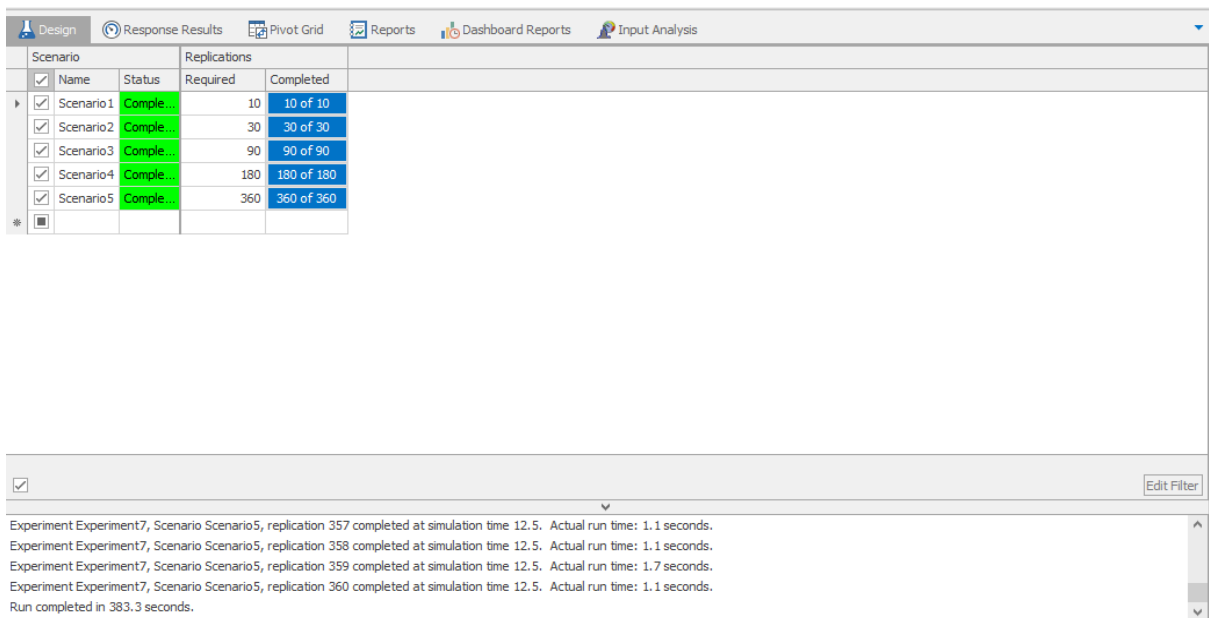


Figura 26. Tiempo de ejecución de las réplicas del modelo simio.

3. 8 ANALISIS DE RESULTADOS

Después de haber realizado las corridas de modelo en simio en diferentes unidades de tiempo y en diferentes escenarios, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados de cada una de las tinas tal y como se muestran en la siguientes Tablas.

DesignResponse ResultsPivot GridReportsDashboard ReportsInput Analysis																									
Drop Filter Fields Here																									
AverageMinimumMaximumHalf Width					Scenario																				
					Scenario1				Scenario2				Scenario3				Scenario4				Scenario5				
Ob...	Obj...	Data S...	Cate...	Data It...	Statistic	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	
Tank	TINA1	FlowContainer	FillStatus	TimeFull	Average (Hou...	11.9737	11.9737	11.97	0.0000	11.9737	11.9737	11.97	0.0000	11.9737	11.9737	11.97	0.0000	11.9737	11.9737	11.97	0.0000	11.9737	11.9737	11.97	
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
					Percent	95.7895	95.7895	95.78	0.0000	95.7895	95.7895	95.78	0.0000	95.7895	95.7895	95.78	0.0000	95.7895	95.7895	95.78	0.0000	95.7895	95.7895	95.78	
					Total (Hours)	11.9737	11.9737	11.97	0.0000	11.9737	11.9737	11.97	0.0000	11.9737	11.9737	11.97	0.0000	11.9737	11.9737	11.97	0.0000	11.9737	11.9737	11.97	
			TimePartially...	Average (Hou...	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526		
				Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000		
				Percent	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210		
				Total (Hours)	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526		
		Throughput	VolumeFlowIn	Total (Liters)	4,384.68	4,264.4	4,495	48.446	4,410.48	4,264.4	4,571	25.610	4,416.54	4,111.3	4,581	18.799	4,413.85	4,111.3	4,611	13.733	4,403.72	4,111.3	4,61		
				VolumeFlowO...	Total (Liters)	2,584.68	2,464.4	2,695	48.446	2,610.48	2,464.4	2,771	25.610	2,616.54	2,311.3	2,781	18.799	2,613.85	2,311.3	2,811	13.733	2,603.72	2,311.3	2,81	
				WeightFlowIn	Total (Kilogra...	4.3847	4.2644	4.495	0.0484	4.4105	4.2644	4.571	0.0256	4.4165	4.1113	4.581	0.0188	4.4139	4.1113	4.611	0.0137	4.4037	4.1113	4.61	
				WeightFlowO...	Total (Kilogra...	2.5847	2.4644	2.695	0.0484	2.6105	2.4644	2.771	0.0256	2.6165	2.3113	2.781	0.0188	2.6139	2.3113	2.811	0.0137	2.6037	2.3113	2.81	
				VolumeFlowIn	Total (Liters)	4,384.68	4,264.4	4,495	48.446	4,410.48	4,264.4	4,571	25.610	4,416.54	4,111.3	4,581	18.799	4,413.85	4,111.3	4,611	13.733	4,403.72	4,111.3	4,61	
					Total (Liters)	2,584.68	2,464.4	2,695	48.446	2,610.48	2,464.4	2,771	25.610	2,616.54	2,311.3	2,781	18.799	2,613.85	2,311.3	2,811	13.733	2,603.72	2,311.3	2,81	

Figura 29. Se muestran los resultados obtenidos por la simulación del modelo de la tina.1

DesignResponse ResultsPivot GridReportsDashboard ReportsInput Analysis																											
Drop Filter Fields Here																											
AverageMinimumMaximumHalf Width					Scenario																						
					Scenario 1				Scenario2				Scenario3				Scenario4				Scenario5						
Ob...	Obj...	Data S...	Cate...	Data It...	Statistic	Average	Minim...	Maxi...	Half	Average	Minim...	Maxi...	Half	Average	Minim...	Maxi...	Half	Average	Minim...	Maxi...	Half	Average	Minim...	Maxi...			
Tank	TINA2	FlowContainer	Content	WeightLevel	Minimum (Kilo...	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
					Average (Hou...	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
					Percent	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105
			FillStatus	TimeEmpty	Total (Hours)	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263
					Average (Hou...	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.44
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
					Percent	91.5789	91.5789	91.57	0.0000	91.5789	91.5789	91.57	0.0000	91.5789	91.5789	91.57	0.0000	91.5789	91.5789	91.57	0.0000	91.5789	91.5789	91.57	0.0000	91.5789	91.5789
		TimeFull	TimeEmpty	Total (Hours)	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.4474	11.44	0.0000	11.4474	11.44	
				Average (Hou...	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	
				Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	
				Percent	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	
		TimePartially...	TimeEmpty	Total (Hours)	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	
				Average (Hou...	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	0.526	0.0000	0.5263	0.5263	
				Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	
				Percent	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	4.210	0.0000	4.2105	4.2105	
		Throughput	VolumeFlowIn	Total (Liters)	2,986.16	2,937.7	3,048	24.702	2,985.19	2,917.1	3,051	14.895	2,976.38	2,915.1	3,053	8.3387	2,978.93	2,914.7	3,053	5.9331	2,983.12	2,914.7	3,053	0.0000	2,983.12	2,914.7	
				VolumeFlowO...	Total (Liters)	1,186.16	1,137.7	1,248	24.702	1,185.19	1,117.1	1,251	14.895	1,176.38	1,115.1	1,253	8.3387	1,178.93	1,114.7	1,253	5.9331	1,183.12	1,114.7	1,253	0.0000	1,183.12	1,114.7
				WeightFlowIn	Total (Kilogra...	2.9862	2.9378	3.048	0.0247	2.9852	2.9172	3.051	0.0149	2.9764	2.9152	3.053	0.0083	2.9789	2.9148	3.053	0.0059	2.9831	2.9148	3.053	0.0000	2.9831	2.9148
				WeightFlowO...	Total (Kilogra...	1.1862	1.1378	1.248	0.0247	1.1852	1.1172	1.251	0.0149	1.1764	1.1152	1.253	0.0083	1.1789	1.1148	1.253	0.0059	1.1831	1.1148	1.253	0.0000	1.1831	1.1148

Figura 30. Se muestran los resultados obtenidos por la simulación del modelo de la tina.2

Design

Response Results

Pivot Grid

Reports

Dashboard Reports

Input Analysis

Drop Filter Fields Here

Average

Minimum

Maximum

Half Width

Scenario

						Scenario1				Scenario2				Scenario3				Scenario4				Scenario5				
Ob...	Obj...	Data S...	Cate...	Data It...	Statistic	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...		
Tank	TINA3	FlowContainer	Content	WeightLevel	FinalValue (Kilo...	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000		
					Maximum (Kilo...	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000		
					Minimum (Kilo...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
				FillStatus	TimeEmpty	Average (Hou...	1.0526	1.0526	1.0526	0.0000	1.0526	1.0526	1.0526	0.0000	1.0526	1.0526	1.0526	0.0000	1.0526	1.0526	1.0526	0.0000	1.0526	1.0526	1.0526	
						Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
						Percent	8.4211	8.4211	8.421	0.0000	8.4211	8.4211	8.421	0.0000	8.4211	8.4211	8.421	0.0000	8.4211	8.4211	8.421	0.0000	8.4211	8.4211	8.421	
						Total (Hours)	1.0526	1.0526	1.0526	0.0000	1.0526	1.0526	1.0526	0.0000	1.0526	1.0526	1.0526	0.0000	1.0526	1.0526	1.0526	0.0000	1.0526	1.0526	1.0526	
				TimeFull	Average (Hou...	10.9211	10.9211	10.92	0.0000	10.9211	10.9211	10.92	0.0000	10.9211	10.9211	10.92	0.0000	10.9211	10.9211	10.92	0.0000	10.9211	10.9211	10.92	10.9211	
						Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
						Percent	87.3684	87.3684	87.36	0.0000	87.3684	87.3684	87.36	0.0000	87.3684	87.3684	87.36	0.0000	87.3684	87.3684	87.36	0.0000	87.3684	87.3684	87.36	
						Total (Hours)	10.9211	10.9211	10.92	0.0000	10.9211	10.9211	10.92	0.0000	10.9211	10.9211	10.92	0.0000	10.9211	10.9211	10.92	0.0000	10.9211	10.9211	10.92	
				TimePartially...	Average (Hou...	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000	0.5263	0.5263	0.5263		
						Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
						Percent	4.2105	4.2105	4.2105	0.0000	4.2105	4.2105	4.2105	0.0000	4.2105	4.2105	4.2105	0.0000	4.2105	4.2105	4.2105	0.0000	4.2105	4.2105	4.2105	
						Total (Hours)	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000	0.5263	0.5263	0.5263	
				Throughput	VolumeFlowIn	Total (Liters)	2,880.70	2,825.0	2,998	38.862	2,878.81	2,822.8	3,056	19.061	2,913.12	2,821.8	3,209	15.562	2,903.81	2,814.9	3,209	9.4186	2,903.69	2,814.0	3,209	
						VolumeFlowO...	Total (Liters)	1,080.70	1,025.0	1,198	38.862	1,078.81	1,022.8	1,256	19.061	1,113.12	1,021.8	1,409	15.562	1,103.81	1,014.9	1,409	9.4186	1,103.69	1,014.0	1,409
						WeightFlowIn	Total (Kilogra...	2.8807	2.8251	2.998	0.0389	2.8788	2.8229	3.056	0.0191	2.9131	2.8219	3.209	0.0156	2.9038	2.8150	3.209	0.0094	2.9037	2.8140	3.209
						WeightFlowO...	Total (Kilogra...	1.0807	1.0251	1.198	0.0389	1.0788	1.0229	1.256	0.0191	1.1131	1.0219	1.409	0.0156	1.1038	1.0150	1.409	0.0094	1.1037	1.0140	1.409

Figura 31. Se muestran los resultados obtenidos por la simulación del modelo de la tina.3

Design																										Response Results				Pivot Grid				Reports				Dashboard Reports				Input Analysis																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Drop Filter Fields Here																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Average					Minimum					Maximum					Half Width					Scenario																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
																				Scenario1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
																				Scenario2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
																				Scenario3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
																				Scenario4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
																				Scenario5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Obj...		Obj...		Data S...		Cate...		Data It...		Statistic		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average		Minim...		Maxi...		Half ...		Average	

Figura 32. Se muestran los resultados obtenidos por la simulación del modelo de la tina.4

DesignResponse ResultsPivot GridReportsDashboard ReportsInput Analysis																									
Drop Filter Fields Here																									
AverageMinimumMaximumHalf Width					Scenario																				
					Scenario 1				Scenario2				Scenario3				Scenario4				Scenario5				
Ob...	Obj...	Data S...	Cate...	Data It...	Statistic	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...					
Tank	TINA5	FlowContainer	Content	WeightLevel	FillStatus	Minimum (Kilo...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000				
						Average (Hou...	2.1053	2.1053	2.1053	0.0000	2.1053	2.1053	2.1053	0.0000	2.1053	2.1053	2.1053	0.0000	2.1053	2.1053	2.1053	0.0000	2.1053	2.1053	
						Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	
						Percent	16.8421	16.8421	16.8421	0.0000	16.8421	16.8421	16.8421	0.0000	16.8421	16.8421	16.8421	0.0000	16.8421	16.8421	16.8421	0.0000	16.8421	16.8421	
						Total (Hours)	2.1053	2.1053	2.1053	0.0000	2.1053	2.1053	2.1053	0.0000	2.1053	2.1053	2.1053	0.0000	2.1053	2.1053	2.1053	0.0000	2.1053	2.1053	
						TimeFull	Average (Hou...	7.0468	7.0144	7.0799	0.0164	7.0521	7.0144	7.0994	0.0087	7.0549	7.0134	7.0994	0.0050	7.0562	7.0132	7.0995	0.0036	7.0561	7.0132
							Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000
							Percent	56.3747	56.1146	56.6313	0.1313	56.4166	56.1146	56.7513	0.0692	56.4395	56.1076	56.7513	0.0401	56.4495	56.1056	56.7629	0.0236	56.4492	56.1056
					Total (Hours)		7.0468	7.0144	7.0799	0.0164	7.0521	7.0144	7.0994	0.0087	7.0549	7.0134	7.0994	0.0050	7.0562	7.0132	7.0995	0.0036	7.0561	7.0132	
					TimePartially...	Average (Hou...	3.3479	3.3155	3.3800	0.0164	3.3427	3.3006	3.3800	0.0087	3.3398	3.3006	3.3810	0.0050	3.3385	3.2991	3.3810	0.0036	3.3386	3.2983	
						Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	
						Percent	26.7832	26.5241	27.0413	0.1313	26.7413	26.4051	27.0413	0.0692	26.7184	26.4051	27.0513	0.0401	26.7084	26.3931	27.0513	0.0290	26.7087	26.3866	
						Total (Hours)	3.3479	3.3155	3.3800	0.0164	3.3427	3.3006	3.3800	0.0087	3.3398	3.3006	3.3810	0.0050	3.3385	3.2991	3.3810	0.0036	3.3386	3.2983	
					Throughput	VolumeFlowIn	Total (Liters)	3,038.30	2,975.13	3,106.31	31.903	3,037.06	2,968.23	3,109.16	46.33	3,033.53	2,966.53	3,109.92	3,036.67	2,966.23	3,109.65	3,038.84	2,965.53	3,111.11	
						VolumeFlowO...	Total (Liters)	1,238.30	1,175.11	1,306.31	31.903	1,237.06	1,168.23	1,309.16	46.33	1,233.53	1,166.53	1,309.92	1,236.67	1,166.23	1,309.65	1,238.84	1,165.53	1,311.11	
						WeightFlowIn	Total (Kilogra...	3.0383	2.9752	3.1063	0.0319	3.0371	2.9682	3.1091	0.0165	3.0335	2.9665	3.1099	0.0093	3.0367	2.9663	3.1099	0.0065	3.0388	2.9655
WeightFlowO...	Total (Kilogra...	1.2383	1.1752	1.3063		0.0319	1.2371	1.1682	1.3091	0.0165	1.2335	1.1665	1.3099	0.0093	1.2367	1.1663	1.3099	0.0065	1.2388	1.1655					

Figura 33. Se muestran los resultados obtenidos por la simulación del modelo de la tina.5

DesignResponse ResultsPivot GridReportsDashboard ReportsInput Analysis																												
Drop Filter Fields Here																												
AverageMinimumMaximumHalf Width					Scenario																							
					Scenario1								Scenario2				Scenario3				Scenario4				Scenario5			
Ob...	Obj...	Data S...	Cate...	Data It...	Statistic	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...	Half...	Average	Minim...	Maxi...								
Tank	TINA6	FlowContainer	Content	WeightLevel	FinalValue (Kilo...	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000								
					Maximum (Kilo...	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000	1.8000	1.8000	1.8000								
					Minimum (Kilo...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000								
			FillStatus	TimeEmpty	Average (Hou...	2.6316	2.6316	2.6316	0.0000	2.6316	2.6316	2.6316	0.0000	2.6316	2.6316	2.6316	0.0000	2.6316	2.6316	2.6316								
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000								
					Percent	21.0526	21.0526	21.0526	0.0000	21.0526	21.0526	21.0526	0.0000	21.0526	21.0526	21.0526	0.0000	21.0526	21.0526	21.0526								
					Total (Hours)	2.6316	2.6316	2.6316	0.0000	2.6316	2.6316	2.6316	0.0000	2.6316	2.6316	2.6316	0.0000	2.6316	2.6316	2.6316								
				TimeFull	Average (Hou...	7.0468	7.0144	7.0799	0.0164	7.0521	7.0144	7.0994	0.0087	7.0549	7.0134	7.0994	0.0050	7.0562	7.0132	7.0994								
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000								
					Percent	56.3747	56.1146	56.6313	0.1313	56.4166	56.1146	56.7513	0.0692	56.4395	56.1076	56.7513	0.0401	56.4495	56.1056	56.7513								
					Total (Hours)	7.0468	7.0144	7.0799	0.0164	7.0521	7.0144	7.0994	0.0087	7.0549	7.0134	7.0994	0.0050	7.0562	7.0132	7.0994								
				TimePartially...	Average (Hou...	2.8216	2.7892	2.8544	0.0164	2.8163	2.7743	2.8544	0.0087	2.8135	2.7743	2.8551	0.0050	2.8122	2.7728	2.8551								
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000								
					Percent	22.5726	22.3138	22.8313	0.1313	22.5308	22.1946	22.8313	0.0692	22.5079	22.1946	22.8413	0.0401	22.4979	22.1821	22.8413								
					Total (Hours)	2.8216	2.7892	2.8544	0.0164	2.8163	2.7743	2.8544	0.0087	2.8135	2.7743	2.8551	0.0050	2.8122	2.7728	2.8551								
			Throughput	VolumeFlowIn	Total (Liters)	3,146.85	3,067.83	3,224.33	32.121	3,146.25	3,067.83	3,224.33	16.358	3,142.57	3,067.83	3,224.33	9.8210	3,140.20	3,067.83	3,224.33								
				VolumeFlowO...	Total (Liters)	1,346.85	1,267.83	1,424.33	32.121	1,346.25	1,267.83	1,424.33	16.358	1,342.57	1,267.83	1,424.33	9.8210	1,340.20	1,267.83	1,424.33								
				WeightFlowIn	Total (Kilogra...	3.1469	3.0678	3.2243	0.0331	3.1462	3.0678	3.2243	0.0164	3.1426	3.0678	3.2243	0.0098	3.1402	3.0678	3.2243								
				WeightFlowO...	Total (Kilogra...	1.3469	1.2678	1.4243	0.0331	1.3462	1.2678	1.4243	0.0164	1.3426	1.2678	1.4243	0.0098	1.3402	1.2678	1.4243								

Figura 34. Se muestran los resultados obtenidos por la simulación del modelo de la tina.6

Design Response Results Pivot Grid Reports Dashboard Reports Input Analysis									
Drop Filter Fields Here									
Average Minimum Maximum Half Width					Scenario 1				
					Scenario2				
					Scenario3				
					Scenario4				
					Scenario5				
Ob...	Obj...	Data S...	Cate...	Data It...	Statistic	Average	Minim...	Maxi...	Half ...
Tank	TINA7	FlowContainer	FillStatus	TimeEmpty	Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	25.2632	25.2632	25.2632	0.0000
					Total (Hours)	3.1579	3.1579	3.1579	0.0000
					Average (Hours)	7.0468	7.0144	7.0794	0.0087
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	56.3747	56.1146	56.6313	0.0000
					Total (Hours)	7.0468	7.0144	7.0794	0.0087
					Average (Hours)	2.2953	2.2629	2.3270	0.0087
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	18.3621	18.1032	18.6213	0.0000
					Total (Hours)	2.2953	2.2629	2.3270	0.0087
				TimePartially...	Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	56.3747	56.1146	56.6313	0.0000
					Total (Hours)	7.0468	7.0144	7.0794	0.0087
					Average (Hours)	2.2953	2.2629	2.3270	0.0087
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	18.3621	18.1032	18.6213	0.0000
					Total (Hours)	2.2953	2.2629	2.3270	0.0087
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	56.3747	56.1146	56.6313	0.0000
					Total (Hours)	7.0468	7.0144	7.0794	0.0087
				Throughput	VolumeFlowIn	3.3343	3.2709	3.3861	0.0239
					VolumeFlowOut	3.3343	3.2709	3.3861	0.0239
					WeightFlowIn	1.5343	1.4709	1.5861	0.0239
					WeightFlowOut	1.5343	1.4709	1.5861	0.0239

Figura 35. Se muestran los resultados obtenidos por la simulación del modelo de la tina.7

Design Response Results Pivot Grid Reports Dashboard Reports Input Analysis									
Drop Filter Fields Here									
Average Minimum Maximum Half Width					Scenario 1				
					Scenario2				
					Scenario3				
					Scenario4				
					Scenario5				
Ob...	Obj...	Data S...	Cate...	Data It...	Statistic	Average	Minim...	Maxi...	Half ...
Tank	TINA8	FlowContainer	Content	WeightLevel	Minimum (Kilo...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
					Average (Hours)	3.6842	3.6842	3.6842	0.0000
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	29.4737	29.4737	29.4737	0.0000
					Total (Hours)	3.6842	3.6842	3.6842	0.0000
				TimeFull	Average (Hours)	8.2895	8.2895	8.2895	0.0000
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	66.3158	66.3158	66.3158	0.0000
					Total (Hours)	8.2895	8.2895	8.2895	0.0000
					Average (Hours)	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	4.2105	4.2105	4.2105	0.0000
					Total (Hours)	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000
				Throughput	VolumeFlowIn	3.3599	3.2773	3.4421	0.0458
					VolumeFlowOut	3.3599	3.2773	3.4421	0.0458
					WeightFlowIn	1.5591	1.4773	1.6421	0.0458
					WeightFlowOut	1.5591	1.4773	1.6421	0.0458

Figura 36. Se muestran los resultados obtenidos por la simulación del modelo de la tina.8

Design Response Results Pivot Grid Reports Dashboard Reports Input Analysis									
Drop Filter Fields Here									
Average Minimum Maximum Half Width					Scenario 1				
					Scenario2				
					Scenario3				
					Scenario4				
					Scenario5				
Ob...	Obj...	Data S...	Cate...	Data It...	Statistic	Average	Minim...	Maxi...	Half ...
Tank	TINA9	FlowContainer	Content	WeightLevel	FinalValue (Kilo...	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000
					Maximum (Kilo...	1.8000	1.8000	1.8000	0.0000
					Minimum (Kilo...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
					Average (Hours)	4.2105	4.2105	4.2105	0.0000
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	33.6842	33.6842	33.6842	0.0000
					Total (Hours)	4.2105	4.2105	4.2105	0.0000
				TimeFull	Average (Hours)	7.7632	7.7632	7.7632	0.0000
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	62.1053	62.1053	62.1053	0.0000
					Total (Hours)	7.7632	7.7632	7.7632	0.0000
					Average (Hours)	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000
					Occurrences	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
					Percent	4.2105	4.2105	4.2105	0.0000
					Total (Hours)	0.5263	0.5263	0.5263	0.0000
				Throughput	VolumeFlowIn	3.4222	3.3401	3.5000	0.0408
					VolumeFlowOut	3.4222	3.3401	3.5000	0.0408
					WeightFlowIn	1.6222	1.5401	1.7000	0.0408
					WeightFlowOut	1.6222	1.5401	1.7000	0.0408

Figura 37. Se muestran los resultados obtenidos por la simulación del modelo de la tina.9

Tabla 21. Analizando la salida de agua de cada una de la tina se realiza la siguiente tabla, teniendo en comparación de los tiempos promedio reales y simulados de las operaciones analizadas del proceso de cada una de las tinas, de las figuras,29 hasta la figura 37, la cual muestran los resultados obtenidos en la simulación en diferentes unidades de tiempo(días).

Tabla 21. Comparación de datos reales de despercio de agua con la simulación de diferentes días.

		NUMERO DE CORRIDAS POR DIAS EN EL PROGRAMA SIMIO				
#TINAS	Datos Reales	10	30	90	180	360
1	2850	2,660	2,610	2,617	2,614	2,604
2	1254	1,186	1,185	1,176	1,179	1,183
3	2280	2,121	2,125	2,141	2,142	2,149
4	1368	1,293	1,289	1,287	1,293	1,292
5	2622	2,420	2,484	2,474	2,481	2,479
6	1425	1,268	1,346	1,343	1,340	1,343
7	1596	1,534	1,523	1,506	1,507	1,504
8	1653	1,559	1,560	1,557	1,560	1,565
9	3420	3,223	3,236	3,237	3,238	3,238
TOTAL, DE LITROS	18,468	17,264	17,359	17,337	17,354	17,356

La apreciación anterior se refleja de una forma más visible en la Figura 25.

En la figura número,27 podemos observar el comportamiento de los valores reales y los valores promedios simulados en diferentes unidades de tiempo y se puede apreciar que los valores simulados casi mantienen el mismo comportamiento que los valores reales, lo que podemos indicar que las corridas y el modelo diseñado son viables para implementación de mejora.

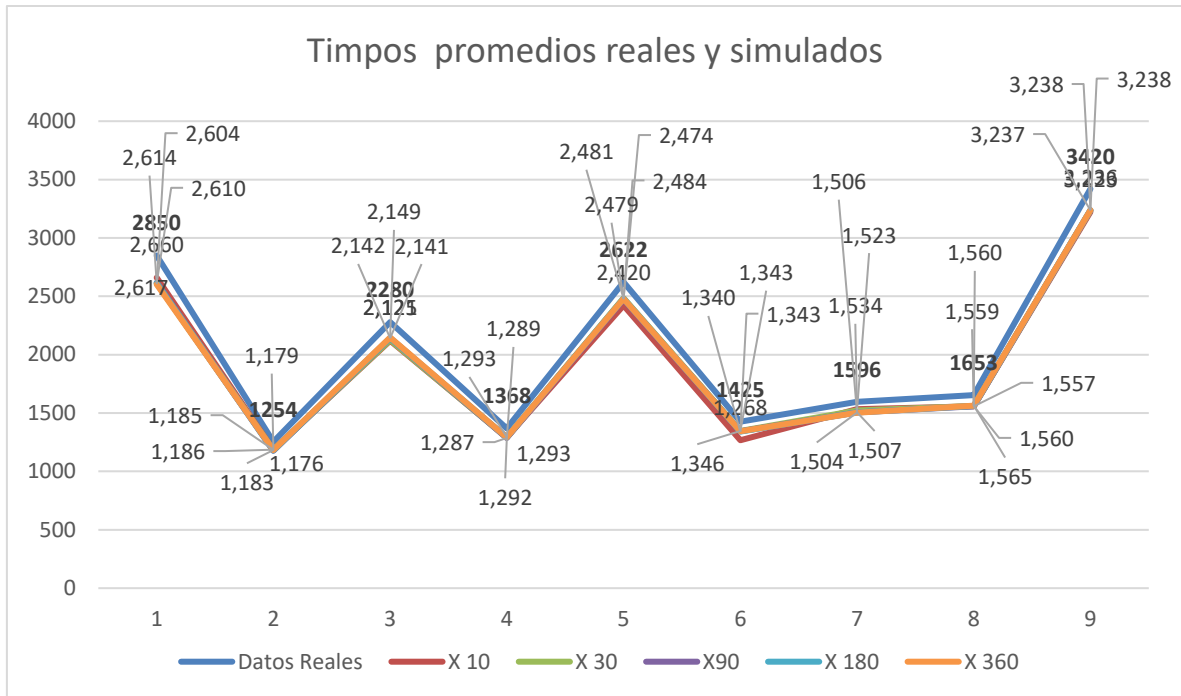


FIGURA 27. Comparación de los datos reales y del proceso de simulación con simio

3..8.1 Tiempos estándar

Una vez obtenidos los tiempos estándar para la operación del sistema de recirculación, a través de la simulación mediante simio, se ingresaron dichos tiempos al modelo de simulación, posteriormente a ello se realizaron el siguiente número de corridas y escenarios, escenario #1,10 corridas, escenario #2,30 corridas, escenario#3,90 corridas, escenario # 4,180 corridas y escenario #5,360 corridas, dicho cálculo se mostró anteriormente en la Tabla 7. En la Figura 23, se presenta la asignación del número de corridas en el software.

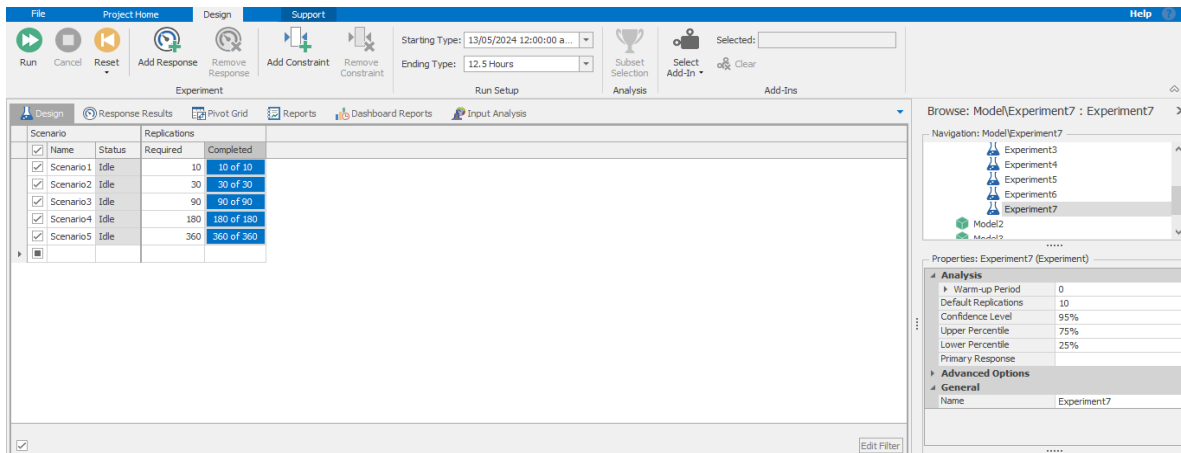


Figura 28. Menú diseño de Simio, tiempo de ejecución de las réplicas del modelo con tiempos estándar.

En la tabla numero 20 podemos apreciar el historial de consumo y la pérdida anual, del recurso económico que asciende aproximadamente a la cantidad de **\$934,248.40**, que, dividido entre los doce meses del año, nos da un promedio de pérdida económica por mes de **\$77,854.03**.

3.8.2 Retorno de orden de inversión.

Una vez tenido la simulación de diferentes escenarios se puede ver de acuerdo a la figura 23 que el compartimiento es muy similar de los datos reales de la operación con la simulación lo que nos conlleva a realizar el siguiente análisis y presentarlo a las personas involucradas en el proyecto.

Se revista la tabla número 21, en conjunto con supervisores y jefe de área donde se muestra el gasto real del 2023, por la cantidad de 18275.59 m³ de agua y donde se pagó la cantidad \$ 934,248.40, por el concepto del uso del recurso hídrico, así mismo se toma como dato simulado de los 360 días la cual en promedio se estarían ahorrando 17356 m³, lo que vendría equivaliendo de ahorro anualmente \$ 887,238.72, y se tendría un ahorro promedio del noventa porciento del consumo de agua.

TABLA 22. Pérdida económica por desperdicio de agua anualmente

AGUA DE RED PUBLICA						
Contrato	Ce.Co.	Año	Mes	Agua desechada	Consumo total	\$/m3
FT2633	2165	2023	Enero	1632.59469	18275.59	77,854.03
FT2633	2165	2023	Febrero	1179		
FT2633	2165	2023	Marzo	1087		
FT2633	2165	2023	Abril	1187		
FT2633	2165	2023	Mayo	1154		
FT2633	2165	2023	Junio	1344		
FT2633	2165	2023	Julio	8092		
FT2633	2165	2023	Agosto	1038		
FT2633	2165	2023	Septiembre	708		
FT2633	2165	2023	Octubre			
FT2633	2165	2023	Noviembre	372		
FT2634	2165	2023	Diciembre	482		
PERDIDA ANUAL					18275.59	\$934,248.40

TABLA 23. Tabla de gasto y ahorró/ simulado y real.

TABLA DE GASTO/AHORRO SIMULADO Y REAL				
DESCRIPCION	COSTO	M3	COSTO X M3	%
GASTO REAL	\$ 934,248.40	18275.59	51.12	100%
GASTO SIMULADO	\$ 887,238.72	17356	51.12	95%

Una vez analizado la tabla numero 21, procedemos a realizar la tabla numero 22 en conjunto con las personas del área operativa del proyecto, siendo esta la tabla de retorno de inversión la cual nos indica en que tiempo se estaría recuperando la inversión a realizar si se llegase a implementar el diseño mejorado para la recirculación del agua. La cual de acuerdo a los numero analizados en la table el retorno de orden de inversión se retornaría en un año con un mes.

TABLA 24 Tabla de retorno de orden de inversión de implementación del modelo.

TABLA DE RETORNO DE ORDEN DE INVERSION				
DESCRIPCION	GASTO	AHORRO EN 12 MESES	AHORRO POR MES	CONCLUSION
TRANSLADO	\$ 35,000.00	\$ 887,535.98	\$ 69,999.13	COMO SE PUEDE APRECIAR EL R.O.I, SERIA DE 1 AÑO 1 MES PARA RETORNAR LA INVERSION DE COMPRA E INSTALACION DEL EQUIPO
MANIOBRA	\$ 48,500.00			
INSTALACION	\$ 524,035.11			
EQUIPO	\$ 350,000.00			
TOTAL	\$ 957,535.11			

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante la simulación realizada con el programa de simio, para poder desarrollar el modelo del proceso de recirculación del agua dentro de la empresa avícola, se mostraron los siguientes resultados, mostrados en tabla 7,8 y figura 23 donde proporcionan la validez y confiabilidad del modelo de simulación, ya que los valores y resultados obtenidos de los escenarios de simulación de ajustan correctamente a los valores de los datos reales de la operación.

Cade destacar que realizando la implementación del sistema de recirculación simulado, se puede obtener de un noventa por ciento de ahorro del agua que se utiliza en la etapa de enfriamiento de las aves, lo que se logró demostrar teniendo el ahorro mencionado anteriormente, se puede implementar el sistema de mejora de recirculación del agua, de acuerdo a la realización del retorno de orden de inversión, de acuerdo a los datos de la tabla 9 y 10, es viable la cual se presenta a la jefatura responsable de la unidad de negocio en conjunto con los supervisores obteniendo una respuesta factible y comentarios positivos para posteriormente presentarlo a la gerencia del área operativa.

A si mismo se puede establecer que se cumplen los objetivos, tanto generales como específicos, ya que desde inicio se planteó reducir el consumo entre un veinticinco y treinta por ciento de consumo de agua en la etapa de enfriado-hidratado, se determinó que el costo de la instalación del equipo es viable para su instalación, de acuerdo a los análisis realizados por la simulación, entre ello se considera ahorrar un promedio de 17 m³, por cada día de proceso lo que nos representa un ahorro promedio del 90% de su consumo.

5. CONCLUSIONES

Con un nivel de confianza del 95%, el modelo realizado representativo de simulación que representa el diseño del sistema de recirculación de agua en la etapa de enfriamiento de las aves, lo que al diseñar, simular y realizar las corridas pertinentes se visualiza las mejoras como; ahorros económicos significativos para la empresa e impacto ambiental, ya dejaríamos de extraer agua del subsuelo y evitaríamos fuentes de contaminación.

Al implementar el sistema de recirculación en las operación analizada se observó un 90% de varios cambios favorables, como fueron: Ahorro en consumo de agua potable, rentabilidad para la empresa, reducción de tiempos y movimiento de los operarios ya que el sistema operaria automatizado, cada una de las anteriores cambió en gran medida tal como se indicó en la discusión de resultados; sin embargo, se hace evidente que el escenario del modelo

anterior con el sistema mejorado, representa un gran escenario aprovechable para la empresa, principalmente en la optimización de los recursos no renovables ,eliminación de fuentes de contaminación y optimización de recursos económicos.

REFERENCIAS

1. Al Seadi, T., & Holm-Nielsen, J. (2004). VI.1 Utilization of waste from food and agriculture. *Waste Management Series*, 4, 735-756.
2. Al-Ali, A. R., Gupta, R., Zaman Batool, T., Landolsi, T., Aloul, F., & Al Nabulsi, A. (2020). Digital twin conceptual model within the context of internet of things. *Future Internet*, 12(10), 163.
3. Ali, N., Petersen, K., & Wohlin, C. (2014). A systematic literature review on the industrial use of software process simulation. *Journal of Systems and Software*, 97, 65-85.
4. Allen, T.T. (2011). Introduction to ARENA Software. En T.T. Allen (Ed.), *Introduction to Discrete Event Simulation and Agent-based Modeling* (pp. 145-160). Springer.
5. Alrabghi, A., & Tameem, A. (2024). Improving Patient Experience in Outpatient Clinics through Simulation: A Case Study. *Modelling*, 5(4), 1505-1518.
6. Barbut, S., & Leishman, E. (2022). Quality and Processability of Modern Poultry Meat. *Animals*, 12(20), 2766.
7. Basán, N. P., Cóccola, M. E., & Méndez, C. A. (2014). Optimizing the design and operation of a beer packaging line through an advanced simio-based DES tool. En *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014* (pp. 1989-2000). IEEE Press.
8. Belk, A. D., Duarte, T., Quinn, C., Coil, D. A., Belk, K. E., Eisen, J. A., Quinn, J. C., Martin, J. N., Yang, X., & Metcalf, J. L. (2021). Air versus Water Chilling of

- Chicken: a Pilot Study of Quality, Shelf-Life, Microbial Ecology, and Economics. *mSystems*, 6(2), e00912-20.
9. Bousdekis, A., Lepenioti, K., Apostolou, D., Mentzas, G., & Iglesias, C. (2021). A Review of Data-Driven Decision-Making Methods for Industry 4.0 Maintenance Applications. *Electronic*, 10(7), 828.
 10. Cafasso, D., Calabrese, C., Casella, G., Bottani, E., & Murino, T. (2020). Framework for Selecting Manufacturing Simulation Software in Industry 4.0 Environment. *Sustainability*, 12(15), 5909.
 11. Campos, N., Nogal, M., Caliz, C., & Juan, A. A. (2020). Simulation-based education involving online and on-campus models in different European universities. *International journal of educational technology in higher education*, 17, 1-15.
 12. Centobelli, P., Cerchione, R., & Murino, T. (2016). Layout and Material Flow Optimization in Digital Factory. *International Journal of Simulation Modelling*, 15, 223-235.
 13. Chiarini, A. (2021). Industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: Are we sure they are all relevant for environmental performance?. *Business Strategy and the Environment*, 30(7), 3194-3207.
 14. Constante, T. A. D. S. L. (2018). Contribution for a simulation framework for designing and evaluating manufacturing systems.
 15. Coskun, T., Debik, E., Kabuk, H. A., Manav Demir, N., Basturk, I., Yildirim, B., & Kucuk, S. (2015). Treatment of poultry slaughterhouse wastewater using a membrane process, water reuse, and economic analysis. *Desalination and Water Treatment*, 57(11), 4944–4951.
 16. Dehghanimohammadabadi, M., & Keyser, T. K. (2017). Intelligent simulation: Integration of SIMIO and MATLAB to deploy decision support systems to simulation environment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 71, 45-60.
 17. Dehghanimohammadabadi, M., & Keyser, T. K. (2017). Intelligent simulation: Integration of SIMIO and MATLAB to deploy decision support systems to simulation environment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 71, 45-60.

18. Deo, D., & Molnar, A. D. (2019). *The application of simio scheduling in industry 4.0* [Sesión de Conferencia]. 2019 Winter Simulation Conference, National Harbor, USA.
19. Deo, D., & Sturrock, D. T. (2021). *Tested success tips for simulation project excellence* [Sesión de Conferencia]. In 2021 Winter Simulation Conference, Phoenix, USA.
20. Dosdoğru, A. T., Boru İpek, A., & Göçken, M. (2021). A novel hybrid artificial intelligence-based decision support framework to predict lead time. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24(3), 261-279.
21. Dubois, G. (2018). *Modeling and Simulation: Challenges and Best Practices for Industry*. CRC Press.
22. El Sabry, M. I., Romeih, Z. U., Stino, F. K., Khosht, A. R., & Aggrey, S. E. (2023). Water scarcity can be a critical limitation for the poultry industry. *Tropical Animal Health and Production*, 55(3), 215.
23. Fatima, F., Du, H., & Kommalapati, R.R. (2021). Treatment of Poultry Slaughterhouse Wastewater with Membrane Technologies: A Review. *Water*, 13, 1905.
24. Félez, A. (2014). *Modelización y simulación con SIMIO de procesos industriales y logísticos* [Tesis de Licenciado, Universidad de Zaragoza]. Zeguan Repositorio Institucional de Documentos.
25. Florescu, A., & Barabas, S. A. (2020). Modeling and Simulation of a Flexible Manufacturing System—A Basic Component of Industry 4.0. *Applied Sciences*, 10(22), 8300.
26. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). *Poultry Development Review*. <https://www.fao.org/4/i3531e/i3531e.pdf>
27. França, B.B.N., & Ali, N.B. (2020). The Role of Simulation-Based Studies in Software Engineering Research. En M. Felderer & G. Travassos, (Ed.) *Contemporary Empirical Methods in Software Engineering* (pp. 263-287). Springer.
28. Gaku, R., Luangkesorn, L., Saito, H., & Takakuwa, S. (2022). *Data-Driven Economic Analysis of Poultry Data Used in Complex Long-Term Egg Production Systems*

- Combining Simulation and Machine Learning* [Sesión de Conferencia]. 2022 Winter Simulation Conference (WSC), Johor Bahru, Singapore.
29. Garcia Marquez Basaldua, J. C. (2023). Cyber-Physical Production Systems And Their Practical Integration And Application With Simio Software.
 30. Garcia, J. (2023). Cyber-Physical Production Systems And Their Practical Integration And Application With Simio Software [Tesis de Magister, University of Texas at El Paso]. ScholarWorks@UTEP.
 31. García-García, J. A., Enríquez, J. G., Ruiz, M., Arévalo, C., & Jiménez-Ramírez, A. (2020). Software Process Simulation Modeling: Systematic literature review. *Computer Standards & Interfaces*, 70, 103425.
 32. Gerbens-Leenes, P.W., Mekonnen, M.M., & Hoekstra, A.Y. (2011). *A comparative study on the water footprint of poultry, pork and beef in different countries and production systems* (Informe n° 55). UNESCO-IHE. <https://www.waterfootprint.org/resources/Report55.pdf>
 33. Gimenez, M., Zaritzky, N., & Graiver, N. (2024). Ozone treatment of meat and meat products: a review. *Frontiers in Food Science and Technology*, 4, 1-11.
 34. Golgeri, D., Kadro, S., Muraro, S., Gurumurthy, D., Bilal, M., Bharagava, R., Hu, A., Bankole, P., Ferreira, L., & Mulla, S. (2022). Physicochemical–biotechnological approaches for removal of contaminants from wastewater. En V. Kumar, & M. Kumar (Ed.), *Integrated Environmental Technologies for Wastewater Treatment and Sustainable Development* (pp. 241-261). Elsevier.
 35. Gržinić, G., Piotrowicz-Cieślak, A., Klimkiewicz-Pawlas, A., Górny, R. L., Ławniczek-Wałczyk, A., Piechowicz, L., & Wolska, L. (2023). Intensive poultry farming: A review of the impact on the environment and human health. *Science of the Total Environment*, 858, 160014.
 36. Hargitai, R., Sebestyén, V., & Somogyi, V. (2024). Potential water reuse pathways from a life cycle analysis perspective in the poultry industry. *Journal of Water Process Engineering*, 64, 105577.
 37. Henriques, M., Vieira, A. A., Dias, L. M., Pereira, G. A., & Oliveira, J. A. (2016). Impact of Dwell Time on Vertical Transportation Through Discrete Simulation in SIMIO. In *Computational Logistics: 7th International Conference, ICCL 2016*,

Lisbon, Portugal, September 7-9, 2016, Proceedings 7 (pp. 411-426). Springer International Publishing.

38. Houck, D., & Whitehead, C. (2019). *Introduction To Simio* [Sesión de Conferencia]. In 2019 Winter Simulation Conference, National Harbor, USA.
39. Kalbarczyk, I., Kwasiborska, A., & Gładys, S. (2023). The decision support facilitating the check-in service at the Chopin airport with the use of computational experiments in SIMIO. *Transport*, 38(2), 67-76.
40. Karlsson, M. (2011). The MIND method: A decision support for optimization of industrial energy systems – Principles and case studies. *Applied Energy*, 88(3), 577-589.
41. Kleyn, F. J., & Ciacciariello, M. (2021). Future demands of the poultry industry: will we meet our commitments sustainably in developed and developing economies?. *World's Poultry Science Journal*, 77(2), 267-278.
42. Kliment, M., Pekarcikova, M., Trojan, J., & Kronova, J. (2022). Use of the FlexSim simulation tool for creating simulation models. *Acta Simulatio*, 8(1), 1-8.
43. Kliment, M., Troja, J., & Pekarcikova, M. (2022). CREATION OF SIMULATION MODELS USING THE FLEXSIM SOFTWARE MODULE. *Advanced Logistic Systems – Theory and Practice*, 16(1), 41-50.
44. Kumar, A. (2024). The role of simulation and modeling in artificial intelligence: A review. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, 15(3), 2430002.
45. Leone, C., Xu, X., Mishra, A., Thippareddi, H., & Singh, M. (2024). Interventions to reduce Salmonella and Campylobacter during chilling and post-chilling stages of poultry processing: a systematic review and meta-analysis. *Poultry Science*, 103(4), 103492.
46. Liu, W., Zhang, W., Dutta, B., Wu, Z., & Goh, M. (2020). Digital twinning for productivity improvement opportunities with robotic process automation: Case of greenfield hospital. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 9(2), 258-263.
47. Luján-Rhenals, D., Morawicki, R., Van Loo, E.J., & Ricke, S. (2016). Energy and water use in poultry processing. En S. Ricke (Ed.), *Achieving sustainable production*

- of poultry meat: Volume 1: Safety, quality and sustainability* (pp. 389-409). Burleigh Dodds Science Publishing
48. Malabagi, S., Kulkarni, V., Mulla, F., Gaitonde, V.N., & Kulkarni, S. (2021). Implementation of simulation in food processing industry at tactical level. *AIP Conf. Proc.*, 2358 (1), 100002.
 49. Mandalaki, G., & Manesis, S. (2013). *3D Simulation analysis of Patras new port operations in SIMIO platform environment* [Sesión de Conferencia]. 2013 UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation, Dalian, China.
 50. Mandalaki, G., & Manesis, S. (2013, April). 3D Simulation analysis of Patras new port operations in SIMIO platform environment. In 2013 UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation (pp. 554-558). IEEE.
 51. Melesse, T., Pasquale, V., & Riemma, S. (2021). Digital Twin models in industrial operations: State-of-the-art and future research directions. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 3(1), 37-47.
 52. Mohammed, K., Kadhun, A., & Morad, A. (2019). Evaluation and Improvement of Manufacturing System Using Computer Software Arena. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 15(4), 71-78.
 53. Mourtzis, D. (2019). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends. *International Journal of Production Research*, 58(7), 1927–1949.
 54. Muoio, R., Palli, L., Ducci, I., Coppini, E., Bettazzi, E., Daddi, D., Fibbi, D., & Gori, R. (2019). Optimization of a large industrial wastewater treatment plant using a modeling approach: A case study. *Journal of environmental management*, 249, 109436.
 55. Ojstersek, R., & Buchmeister, B. (2017). Use of Simulation Software Environments for the Purpose of Production Optimization. En B. Katalinic (Ed.), *28th International DAAAM Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation 2017* (pp. 0750-0758). DAAAM International.

56. Ojstersek, R., & Buchmeister, B. (2017). Use of simulation software environments for the purpose of production optimization. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 28, 750-758.
57. Ojstersek, R., Buchmeister, B., & Javernik, A. (2023). The importance of Cobot speed and acceleration on the manufacturing system efficiency. *Procedia Computer Science*, 217, 147-154.
58. Onggo, B. S. (2019). Symbiotic simulation system (S3) for industry 4.0. En M. Gulnar, (Ed.) *Simulation for Industry 4.0: Past, Present, and Future* (pp. 153-165). Springer.
59. Paolazzi, E., Noreña, C. & Brandelli, A. (2013). Water Absorption and Temperature Changes in Poultry Carcasses during Chilling by Immersion. *International Journal of Food Engineering*, 9(1), 129-134.
60. Peng, D., Yong, Z., Dong, S., Xiang-Jun, S., & Xiu-Peng, W. (2015, November). Analysis on the Benefit for the Mode of Equipment Changing Parts Repair Based on Simio. In 2015 Second International Conference on Soft Computing and Machine Intelligence (ISCMI) (pp. 140-143). IEEE.
61. Pereira, J. L., & Almeida, M. (2017). Business Process Simulation Models: The (Re) Use of Simulation Components. In *Recent Advances in Information Systems and Technologies: Volume 1 5* (pp. 746-756). Springer International Publishing.
62. Pérez-Aguilar, D. A., Cabrera-Marín, C., Cacho-Gutierrez, C., Paz-Lozano, E., Rudas-Cotrino, J., Sagastegui-La-Torre, P., & Malpica, M. *The importance of using simulations in industrial process automation: a case study in a water bottling company* [Sesión de Conferencia]. 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, Buenos Aires, Argentina.
63. Philipp, M., Masmoudi, K., Wellmann, J., Akrou, H., Bousselmi, L., & Geissen, S-U. (2021). Slaughterhouse Wastewater Treatment: A Review on Recycling and Reuse Possibilities. *Water*, 13(22), 3175.
64. Prochaska, K., & Thiesing, R.M. (2017). *Introduction to Simio* [Sesión de Conferencia]]. 2017 Winter Simulation Conference, Las Vegas, USA.

65. Rana, M.S., & Campbell, D.L.M. (2021). Application of Ultraviolet Light for Poultry Production: A Review of Impacts on Behavior, Physiology, and Production. *Front. Anim. Sci.*, 2, 699262.
66. Reyna, A. (2020). *Modelamiento y simulación del proceso de elaboración de conserva de frutas usando el lenguaje simio* [Tesis de Licenciado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Callao.
67. Saravia, S., Gil, M., Fernández, D., Montañez, A., Blanco, E., Naranjo, L., Llavona, A., & Sarmanto, N. (2022). *Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe* (Informe n° 213). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3413ec71-7292-4ce7-95a8-a6b4aa53faae/content>
68. Seidavi, A., Zaker- Esteghamati, H., & Scanes, C. (2019). Present and potential impacts of waste from poultry production on the environment. *World's Poultry Science Journal*, 75(1), 29–42.
69. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. (2018). *Guía de buenas prácticas. Manejo de la calidad del agua de bebida en granjas avícolas*. <https://biblioteca.senasa.gob.ar/items/show/3872#?c=0&m=0&s=0&cv=0>
70. Smith, J., & Sturrock, D. (2024). Simio and Simulation - Modeling, Analysis, Applications. <https://textbook.simio.com/SASMAA7/>
71. Sormaz, D. N., & Malik, M. (2018). Data-driven simulation modelling for progressive care units in Hospitals. *Procedia Manufacturing*, 17, 819-826.
72. Sturrock, D. (2019). Using Commercial Software to Create a Digital Twin. En M. Gunal (Ed.), *Simulation for Industry 4.0* (pp. 191-210). Springer.
73. Sturrock, D. T. (2019). Traditional simulation applications in industry 4.0. *Simulation for Industry 4.0: Past, Present, and Future*, 39-54.
74. Sujová, E., Cierna, H., & Bambura, R. (2019). *Simulation model of production as tool for industry 4.0 implementation into practice* [Sesión de Conferencia]. 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, Letonia.

75. Terán, R., Atoche-Garay, D., Pinto, D., Ahmed, M., Colina, G., & Santos, J. (2021). Promising physicochemical technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A critical review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105174.
76. Thiesing, R. *Simio applications in scheduling* [Sesión de Conferencia]. 2015 Winter Simulation Conference, Huntington Beach, USA.
77. U.S. Environmental Protection Agency. (2023). Regulatory Impact Analysis for Revisions to the Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Meat and Poultry Products Point Source Category. https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-12/mpp_tdd_proposed_dec-2023.pdf
78. Valdivia, L. (2014). *SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PULPA DE PALTA CONGELADA EN SOFTWARE SIMIO* [Tesis de Doctorado, Universidad Federico Villarreal]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Callao.
79. Vandana, G. D., Sejian, V., Lees, A. M., Pragna, P., Silpa, M. V., & Maloney, S. K. (2021). Heat stress and poultry production: impact and amelioration. *International Journal of Biometeorology*, 65, 163-179.
80. Vieira, A. C., Dias, A., Santos, M. Y., Pereira, G., Oliveira, J. A. (2018). Simulation of an automotive Supply Chain in Simio: data model validation. En M. Affenzeller, A. Bruzzone, F. Longo, Y. Merkurjev, E. Jimènez, M. Riera (Eds.) *Proceedings of the 30th European Modeling & Simulation Symposium* (pp. 294-301).
81. Vieira, A., Velozo, U., Dias, L., Pereira, G., Oliveira, Z., Karvaljo, M., & Figueredo, M. (2019). Using simulation to model the Logistic operations of a company of the cement industry. *FME Transaction*, 47(4), 683-690.
82. Wang, H., Qin, X., Li, X., Wang, X., Lei, Y., & Zhang, C. (2020). Effect of chilling methods on the surface color and water retention of yellow-feathered chickens. *Poultry science*, 99(4), 2246–2255.
83. Zaayman, G., & Innamorato, A. (2017). *The application of simio scheduling in industry 4.0* [Sesión de Conferencia]. 2017 Winter Simulation Conference, Las Vegas, USA.

84. Zaayman, G., & Innamorato, A. (2017, December). The application of simio scheduling in industry 4.0. In 2017 Winter Simulation Conference (WSC) (pp. 4425-4434). IEEE.
85. Zhang, H., Kitchenham, B., & Pfahl, D. (2008). *Software Process Simulation Modeling: Facts, Trends and Directions* [Sesión de Conferencia]. 15th Asia-Pacific Software Engineering Conference, Beijing, China.
86. Zhou, L., Zhang, L., Ren, L., & Wang, J. (2019). Real-time scheduling of cloud manufacturing services based on dynamic data-driven simulation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(9), 5042-5051.
87. Zia, S., Graham, D., & Dolfing, J. (2020). Wastewater Treatment: Biological. En B. Fath, & E. Jorgensen (Ed.), *Managing Water Resources and Hydrological Systems* (pp. 561-577). CRC Press.

ANEXOS.

CONSUMO DE AGUA EN LIMPIEZA Y PROCESO								
FECHA	LECTURA TEMPRANO	LECTURA TARDE	AGUA LIMPIEZA	AGUA PROCESO	COSTO AGUA X M3	COSTO TOTAL LIMPIEZA	COSTO TOTAL PROCESO	COSTO TOTAL
SUMAS			0	0		\$ -	\$ -	\$ -

Anexo1.Formato de recolección de datos. (Fuente elaboración propia.)