



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

**“SIMULACIÓN EN SIMIO DE LA LOGÍSTICA INTERNA
EN UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA
AZUCARERA PARA LA MEJORA DE SU
PRODUCTIVIDAD”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:

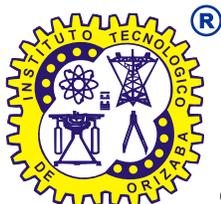
ING. MÓNICA MARIANA MUÑOZ MAYORGA

DIRECTOR DE TESIS:

M.I.I. CONSTANTINO GERARDO MORAS SÁNCHEZ

CODIRECTOR DE TESIS:

DR. ALBERTO ALFONSO AGUILAR LASSERRE



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

NOVIEMBRE 2023

Orizaba, Veracruz, **24/noviembre/2023**
Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. MUÑOZ MAYORGA MÓNICA MARIANA
Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRESENTE

De acuerdo con el reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

"SIMULACIÓN EN SIMIO DE LA LOGÍSTICA INTERNA EN UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA AZUCARERA PARA LA MEJORA DE SU PRODUCTIVIDAD"

Comunico a usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENCIÓN
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®



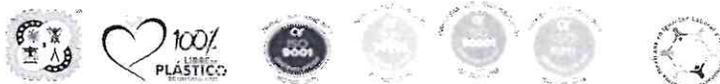
CUAUHTEMOC SANCHEZ RAMIREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



CSR/magh



OG-13-F06



Orizaba Veracruz, **Noviembre 22 de 2023**
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

**C. CUAUHTEMOC SANCHEZ RAMIREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-**

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.:

MUÑOZ MAYORGA MÓNICA MARIANA

La cual lleva el título de:

**SIMULACIÓN EN SIMIO DE LA LOGÍSTICA INTERNA EN UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE
UNA EMPRESA AZUCARERA PARA LA MEJORA DE SU PRODUCTIVIDAD**

y concluyen que se acepta.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: **MII CONSTANTINO G. MORAS SÁNCHEZ**


FIRMA

SECRETARIO: **DR. ALBERTO A. AGUILAR LASSERRE**


FIRMA

VOCAL: **M.C. MAGNO ANGEL GONZÁLEZ HUERTA**


FIRMA

VOCAL SUP.: **DR. JOSE OCTAVIO RICO CONTRERAS**


FIRMA

TA-09-F18



Declaración de originalidad y cesión de derechos

Orizaba, Veracruz, el día 22 del mes de noviembre del año 2023.

El(la) que suscribe

C. Mónica Mariana Muñoz Mayorga

Declaro que esta tesis, que tiene una extensión de 85 cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de la tesis titulada

“SIMULACIÓN EN SIMIO DE LA LOGÍSTICA INTERNA EN UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA AZUCARERA PARA LA MEJORA DE SU PRODUCTIVIDAD”

del programa: Maestría en Ingeniería Industrial bajo la asesoría y dirección del M.I.I. Constantino Gerardo Moras Sánchez y no ha sido sometida en ninguna otra institución previamente.

Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, cuento con las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba.

También declaro que, al presentar esta tesis, cedo los derechos del trabajo al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación, bajo las regulaciones propias de la institución y que si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: depi_orizaba@tecnm.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.


Mónica Mariana Muñoz Mayorga
Nombre y firma

Dedicatoria

En el umbral de este logro académico, me encuentro llena de gratitud y humildad al mirar hacia atrás en el camino que me ha llevado hasta aquí. Esta tesis representa mucho más que una culminación de conocimientos; es un tributo a las personas que han sido faros de luz y pilares de apoyo en mi vida.

A Dios, fuente de sabiduría y guía constante, le dedico este trabajo en reconocimiento de Su infinita misericordia. En cada paso de esta travesía, he sentido Su presencia, y a Él le entrego este logro con gratitud por Su apoyo inquebrantable.

A mi amado esposo, le dedico esta tesis, tú has sido mi compañero de vida y mi apoyo constante en cada desafío. Este logro es nuestro, un reflejo de nuestra unidad y nuestro compromiso.

A mi Sarah, le dedico este trabajo con todo mi corazón. Cada página escrita es un homenaje a ti y a tu inspiración. Tu sonrisa, tu curiosidad y tu entusiasmo son el motor que me ha impulsado a superar obstáculos y a perseverar.

A mi familia, les dedico este logro en agradecimiento por su amor, apoyo inquebrantable y valores sólidos que han sido la base de mi educación. Cada uno de ustedes ha contribuido de manera única a mi formación, y este trabajo es un reflejo de nuestro lazo inseparable.

A mi profesor, Constantino Moras, cuyas enseñanzas y orientación han sido invaluableles en mi formación académica, le dedico este trabajo en reconocimiento a su compromiso con la educación. Gracias por su paciencia y todo el tiempo brindado. Sus conocimientos y su apoyo han sido cruciales en mi desarrollo intelectual.

Esta tesis es un testimonio del amor, apoyo y la influencia de todas las personas que han tocado mi vida. A cada uno de ustedes, les agradezco de todo corazón por haber sido parte de este viaje. Espero que este logro refleje la importancia que tienen en mi vida y en mi desarrollo como estudiante y como persona.

Agradecimientos

En este momento trascendental de mi vida, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido esenciales en el camino hacia la culminación de esta tesis. Sus apoyos invaluable y contribuciones han sido los pilares de mi éxito académico.

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por su guía constante y por brindarme la fortaleza y la inspiración necesarias para llevar a cabo este proyecto.

A mi amado esposo, Christian, quiero agradecerte por tu amor incondicional, paciencia y apoyo inquebrantable a lo largo de este proceso. Tus palabras de aliento y comprensión han sido mi ancla en los momentos difíciles.

A mi querida hija, Sarah, le agradezco por su comprensión y por ser una fuente constante de alegría en mi vida. Tu entusiasmo y sonrisa han sido un bálsamo en los momentos de arduo trabajo.

A mi padre y su esposa, les agradezco por su apoyo y por haber sido un constante ejemplo de perseverancia y dedicación. Su amor y respaldo han sido invaluable.

A mi madre, le agradezco por su amor, comprensión y por haber inculcado en mí la perseverancia para seguir mis sueños y cumplir mis metas. Tu influencia ha sido fundamental en mi vida.

A mis hermanas, les agradezco por su apoyo constante, cariño y por ser mi fuente de inspiración. Su apoyo ha sido un pilar fundamental en mi vida.

A mis compañeros de la maestría, quiero expresar mi agradecimiento por compartir este viaje académico conmigo. Su apoyo, colaboración y amistad han enriquecido mi experiencia y mi crecimiento personal.

A mis estimados maestros y profesores, les estoy profundamente agradecida por su valiosa orientación, sabiduría y apoyo a lo largo de mi formación académica. Sus enseñanzas han sido la base de mi conocimiento y desarrollo como estudiante.

Este logro no habría sido posible sin la contribución de todas estas personas especiales en mi vida. Aprecio profundamente su apoyo, amor y confianza en mí. Gracias por ser parte de este importante capítulo en mi vida.

Resumen

La industria azucarera desempeña un papel de gran importancia en el estado de Veracruz, México. Más que una simple actividad económica, esta industria representa una parte fundamental de la identidad histórica y cultural de la región. Esta gran importancia se ve reflejada en el crecimiento constante de dicha área, por lo que las empresas se ven en la necesidad de una adaptación y crecimiento constante.

El presente proyecto tuvo como objetivo principal presentar una propuesta de logística interna de un nuevo Centro de Distribución (CEDIS) de una empresa azucarera para obtener el mejor desempeño del mismo. Dicho objetivo fue cumplido mediante la construcción de un modelo de simulación en el software Simio del sistema planeado, para posteriormente evaluar en el software alternativas que mejoren el desempeño y la productividad del futuro sistema. Al tratarse de un proyecto en construcción, no se contó con la posibilidad de obtener datos de campo, por lo que todos los datos necesarios fueron obtenidos de datos históricos proporcionados por la empresa. La metodología utilizada para el modelado de la simulación de este proyecto estuvo basada en los 10 pasos de simulación propuestos en Simulation Modeling and Analysis Law (2015), y nos permitió obtener un modelo validado y apegado a lo que se proyecta para el nuevo Centro de Distribución y a los datos históricos de los ingenios ya establecidos. Posteriormente, se crearon 32 alternativas, en las cuales variaban 3 parámetros significativos como los son el número de turnos, el número de ensacadoras y la capacidad de ensacado de éstas. Mediante el análisis de los dos indicadores, tiempo de procesamiento total y porcentaje de utilización, resultantes de los escenarios, se eligieron de los escenarios que cumplían con los requerimientos de viabilidad estipulados para el análisis, que resultaron ser 6 de los 32 escenarios propuestos. Finalmente, las 6 alternativas fueron comparadas en términos económicos, para concluir que a pesar de que los escenarios de 2 máquinas y 3 turnos fueron los menos costosos, los escenarios con 3 máquinas y 2 turnos son más flexibles a cambios e incrementos en la demanda, por lo que resultan más recomendables.

Abstract

The sugar industry plays a significant role in the state of Veracruz, Mexico. More than just an economic activity, this industry represents a fundamental part of the region's historical and cultural identity. This great importance is reflected in the constant growth of the area, leading companies to continually adapt and expand.

The primary objective of this project was to propose an internal logistics plan for a new Sugar Company Distribution Center (CEDIS) to maximize its performance. This objective was achieved by constructing a simulation model using Simio software for the planned system, followed by an evaluation of alternative scenarios aimed at improving the performance and productivity of the future system. Since this was a construction project, field data was not available, so all necessary data was obtained from historical records provided by the company.

The methodology used for simulating this project was based on the 10 simulation steps proposed in "Simulation Modeling and Analysis" by Law (2015). This allowed us to create a validated model that aligns with the planned Distribution Center and historical data from established sugar mills. Subsequently, 32 alternative scenarios were generated, varying three significant parameters: the number of shifts, the number of bagging machines, and their bagging capacity.

Through the analysis of two resulting indicators, total processing time and utilization percentage, from the scenarios, six out of the 32 proposed scenarios that met the feasibility requirements for the analysis were selected. These six alternatives were then compared in economic terms, ultimately concluding that, despite the lower cost of scenarios with 2 machines and 3 shifts, scenarios with 3 machines and 2 shifts are more adaptable to changes and increases in demand, making them the more recommended choice.

Contenido

Introducción	1
Capítulo 1. Generalidades	2
1.1 Generalidades del Proyecto.....	2
1.1.1 Planteamiento del problema	2
1.1.2 Objetivos	3
1.1.3 Justificación.....	3
1.1.4 Estado del arte	4
1.2 Generalidades de la empresa	8
Capítulo 2. Marco Teórico.....	9
2.1 Desarrollo de la industria azucarera	9
2.2 Agroindustria azucarera de Veracruz México.....	10
2.2.1 Índice de productividad de ingenios azucareros de Veracruz, México	11
2.3 Simulación.....	15
2.3.1 Definición de simulación	15
2.3.2 Objetivo de una simulación.....	15
2.3.3 Aplicaciones de la simulación.....	16
2.3.4 Ventajas y desventajas de la simulación	17
2.3.5 Simulación de eventos discretos.....	19
2.4 Software de simulación Simio.....	19
2.4.1 La interfaz de usuario	20
2.4.2 Objetos y librerías.	22
2.5 Metodología de Simulación	24
Capítulo 3. Aplicación de la metodología de simulación	27
3.1 Definición del Problema.....	27
3.2 Recolección de datos del sistema	27
3.3 Análisis estadístico y validación de los datos recolectados del sistema.....	28
3.4 Construcción del Modelo de Simulación	28
3.4.1 Modelado en SIMIO.....	29
3.5 Realizar corridas piloto	46
3.6 Validación del modelo	47
3.7 Diseño de Experimentos.....	49
3.8 Correr el modelo de simulación	50
3.9 Análisis de resultados del modelo actual	50
Capítulo 4. Evaluación de Alternativas.....	53

Conclusiones	69
Referencias bibliográficas	73

Índice de Figuras

Figura 1.1 Ubicación del estado de Veracruz dentro de México. Fuente: Wikimedia Commons	8
Figura 2.1 Interfaz Gráfico de SIMIO.....	21
Figura 2.2 Diagrama de flujo de la metodología de simulación.....	26
Figura 3.1 Modelo base. Elaboración Propia.	28
Figura 3.2 Layout del nuevo Centro de Distribución (CEDIS).....	29
Figura 3.3 Extracto de Rate Tables del objeto "Ingenio M"	31
Figura 3.4 Propiedades de Source "Ingenio_M"	32
Figura 3.5 Ingenios representados por Source	32
Figura 3.6 Model Entity <i>SuperSaco</i>	33
Figura 3.7 State Variable de Super Sacos	33
Figura 3.8 Proceso de contador de Super Sacos.....	33
Figura 3.9 Propiedades del Proceso de contador de super sacos.....	34
Figura 3.10 Llamado del proceso SuperSacos en el Source "Ingenio M".....	34
Figura 3.11 Paths representando carretera hacia CEDIS	35
Figura 3.12 Propiedades del <i>Path Carretera2</i>	35
Figura 3.13 Propiedades del vehículo <i>Trailer_SP3</i>	36
Figura 3.14 <i>Vehicle</i> utilizado para transporte interno del producto	37
Figura 3.15 Elemento <i>Crane</i> representando grúas aéreas.	37
Figura 3.16 Separator representando ensacadoras	38
Figura 3.17 Model Entity <i>Sacos25kg</i>	39
Figura 3.18 Work Schedule con dos turnos de trabajo.....	39
Figura 3.19 Propiedades de Separator	40
Figura 3.20 <i>Conveyor</i> representando bandas transportadoras.....	41
Figura 3.21 Almacén de super sacos	42
Figura 3.22 Almacén de sacos de 25 kg.....	42
Figura 3.23 <i>Vehicles</i> representando montacargas	42
Figura 3.24 <i>Sinks</i> representando camiones de carga	43
Figura 3.25 Vista aérea en 2D de modelo de Simulación en SIMIO.	44
Figura 3.26 Vista frontal 1 del modelo de Simulación en SIMIO.....	45
Figura 3.27 Vista frontal 2 del modelo de Simulación en SIMIO.....	45
Figura 3.28 Vista lateral del modelo de Simulación en SIMIO	46
Figura 3.29 Vista trasera del modelo de Simulación en SIMIO	46
Figura 3.30 Tabla de Indicadores del sistema al inicio de la corrida de simulación.....	52

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Matriz de ponderación de productividad de ingenios azucareros.	12
Tabla 2.2 Índice de productividad de Ingenios azucareros de Veracruz (Promedio zafra 1999/2012) Fuente: Aguilar Rivera, 2014.	13
Tabla 2.3 Productividad de los ingenios veracruzanos.	14
Tabla 3.1 Áreas de división del modelo del CEDIS. Fuente: Elaboración Propia	30
Tabla 3.2 Tabla Resumen de objetos del modelo.....	43
Tabla 3.3 Conversión de super sacos a toneladas de azúcar	47
Tabla 3.4 Prueba t pareada	48
Tabla 3.5 Datos de corridas del modelo.....	51
Tabla 4.1 Descripción de Alternativas	54
Tabla 4.2 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad mínima y 2 turnos.....	55
Tabla 4.3 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad promedio y 2 turnos.....	56
Tabla 4.4 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad máxima y 2 turnos.....	57
Tabla 4.5 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad triangular y 2 turnos.	58
Tabla 4.6 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad mínima y 3 turnos.....	59
Tabla 4.7 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad promedio y 3 turnos.....	60
Tabla 4.8 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad máxima y 3 turnos.	61
Tabla 4.9 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad triangular y 3 turnos.	62
Tabla 4.10 Colores asignados para los rangos del indicador "Tiempo".	63
Tabla 4.11 Colores asignados para los rangos del indicador "Porcentaje de Utilización".	63
Tabla 4.12 Combinaciones de colores y resultados de la evaluación.....	64
Tabla 4.13 Tabla de resumen de escenarios propuestos.....	65
Tabla 4.14 Escenarios "Óptimo" y "Muy Bueno"	66
Tabla 4.15 Costos totales de escenarios elegidos.....	67
Tabla 4.16 Costos anuales de escenarios elegidos a 5, 10 y 15 años	67

Introducción

En la actualidad, la industria azucarera se está convirtiendo en una de las más importantes, tanto de la región como de México. Esto se debe a la gran demanda que tienen los productos derivados de la caña dentro del mercado, y a que la región tiene altos índices de cosecha de caña y transformación de la misma. Tanto es este crecimiento, que algunas empresas se ven en la necesidad de expandirse para poner cumplir con los estándares y requerimientos del mercado, así como la demanda del mismo. Tal es el caso de una empresa azucarera de la región, la cual se encuentra en un proceso de expansión y mejoramiento de sus procesos, dentro de los que se encuentra la construcción de un nuevo centro de distribución en el estado de Veracruz. La finalidad de este nuevo Centro de Distribución (CEDIS), que apenas se está construyendo, es tener un lugar de almacenamiento para los super sacos (tonelada y media de azúcar) que generan sus dos principales ingenios, y dentro de este mismo CEDIS poder realizar el proceso de ensacado para la obtención de sacos de 25 kg, listos para su almacenamiento y distribución a sus puntos de venta.

El presente proyecto se desarrollará en conjunto con la empresa azucarera antes mencionada, y tendrá la intención de mostrar visualmente como se vería el CEDIS cuando termine su construcción, y principalmente simular su logística interna para evaluar el desempeño que tendría. Por otra parte, también se busca proponer nuevas alternativas de logística interna con la finalidad de que una vez analizadas y evaluadas, podamos obtener el escenario que genere el desempeño óptimo dentro del nuevo centro de distribución maximizando su productividad, al mismo tiempo que se minimizan los costos. La manera en la cual será desarrollado el análisis es por medio de una simulación del CEDIS mediante el software llamado SIMIO®, con el cual se creará el modelo de simulación que represente al sistema planeado, para posteriormente realizar escenarios diferentes del modelo modificando alguno de sus parámetros, como lo son número de ensacadoras, capacidad de ensacado de cada una de ellas y número de turnos trabajados por día. Con el modelo se evaluaron 32 escenarios de los cuales se eligieron los mejores para ser evaluados económicamente para llegar a la mejor decisión.

Capítulo 1. Generalidades

1.1 Generalidades del Proyecto

1.1.1 Planteamiento del problema

La industria azucarera mexicana tiene una larga historia. Es una industria que combina las actividades agrícolas de cultivo, cosecha y transporte de caña de azúcar con la producción industrial de azúcar cruda y refinada y muchos productos especializados y derivados. Para competir en una economía global, es importante establecer criterios de desempeño/puntos de referencia con el fin de lograr la producción de azúcar de menor costo en términos de competitividad técnica, productividad y eficiencia de acuerdo con tres aspectos (rendimiento de sacarosa, caña de azúcar *por hectárea* y fábrica) (Aguilar et. Al, 2011).

A pesar de que los tres aspectos antes mencionados son igual de importantes, cada uno tiene sus cualidades, y se estudian de acuerdo a las necesidades que se tengan. El aspecto de la fábrica, como se menciona anteriormente, tiene un gran impacto en la definición de criterios de desempeño, dado que está relacionado directamente a la producción siendo el método con el que se transformará la materia prima, por lo cual es necesario que las empresas se actualicen en cuanto a tecnología y logística con la finalidad de crecer a la par y estar preparados para la demanda del mercado.

Dentro del proceso de producción podemos encontrar diferentes variables que impactan a éste, entre ellas está la logística interna. La logística interna referida a los procesos para la identificación, registro, manejo, control y almacenamiento de los inventarios, ha adquirido gran importancia en los últimos cincuenta años, a partir de la globalización de la economía y la evolución de la tecnología de la informática, los mercados ganaron en competitividad a nivel mundial, surgiendo varias estrategias como las economías de la escala, donde la gestión fue la clave para el fortalecimiento de la competitividad.

Actualmente, una empresa azucarera de la región tiene la propuesta de construir un centro de distribución para el almacenamiento y procesamiento del producto de dos de sus ingenios más importantes. Debido a todo lo anteriormente descrito, se propone crear una simulación

del nuevo centro de distribución con la finalidad de ver cuál sería su comportamiento en la realidad y en base a eso formular diferentes escenarios, para así encontrar el óptimo y obtener le mejor desempeño posible del nuevo CEDIS.

1.1.2 Objetivos

1.1.2.1 Objetivo General

Presentar una propuesta de logística interna de un nuevo Centro de Distribución (CEDIS) de una empresa azucarera para obtener el mejor desempeño del mismo, mediante la construcción de un modelo de simulación en el software Simio del sistema planeado, para posteriormente evaluar en el software alternativas que mejoren el desempeño y la productividad del futuro sistema.

1.1.2.2 Objetivos particulares

- Construir el modelo de simulación del futuro CEDIS mediante Simio.
- Proporcionar una imagen gráfica de la propuesta planeada del CEDIS.
- Realizar propuestas de mejora en Simio tomando como referencia la simulación del estado actual planeado.
- Comparar y evaluar propuestas de mejora por medio de simulación en SIMIO.

1.1.3 Justificación

México produce alrededor de 5 millones de toneladas de azúcar, con un valor de más de 3 mil millones de dólares anuales, lo que representa cerca del 12% del valor del sector primario; además el consumo per cápita es cercano a 48 kg año. La producción de caña se realiza en 664 mil hectáreas que abastecen a 57 ingenios de 15 estados cañeros. La agroindustria azucarera de Veracruz participa con 40% de la producción a nivel nacional de sacarosa e integra actividades agrícolas de crecimiento, cosecha y transporte de caña de azúcar con la producción industrial en ingenios azucareros, destilerías y trapiches piloncilleros. Sin embargo, enfrenta retos con la caída de la productividad y aspectos socioeconómicos que

ponen en riesgo la seguridad alimentaria y la reconversión de la agroindustria. (Aguilar-Rivera, 2012)

Debido a que esta industria es de suma importancia para el desarrollo económico del país, es necesario tomar en cuenta que, para el buen funcionamiento y crecimiento de las organizaciones dedicadas a esta actividad económica, se debe contar con una buena logística y distribución, por lo que es importante tener en cuenta que las decisiones relacionadas con estas áreas de la empresa no pueden tomarse a la ligera, ya que una mala decisión podría resultar muy costosa para la empresa. Es por eso que, en la actualidad, existen diferentes técnicas que sirven como apoyo para la toma de decisiones en relación con aspectos que influyen en el sistema, como la distribución y la logística interna, una de ellas es la simulación. La “simulación”, como técnica científica, se utiliza principalmente para analizar y diseñar sistemas reales complejos y dinámicos, dado que con sus principios intuitivos básicos permite crear escenarios de sistemas, que exploran y experimentan diferentes situaciones sin tener que afectar directamente la realidad al momento de tomar medidas para mejorar. Utilizar otros procedimientos o técnicas para resolver este tipo de situaciones suele ser más difícil y, a veces, incluso poco práctico; Por el contrario, aplicar la simulación ahorra tiempo y recursos.

Como nos menciona Blasco y Oliveros (2014) “la simulación por eventos discretos tiene una mayor facilidad de modelamiento en cuanto al resto de tipo de simulaciones, ya que permite modelar situaciones de alto nivel de complejidad con funciones relativamente sencillas, de esta forma es posible construir modelos que representen la realidad en el nivel de detalle deseado. También posee una diferenciación en cuanto a indicadores estadísticos, ya que dada la estructura de la simulación por eventos discretos se pueden obtener todo tipo de estadísticas e indicadores que nos proporcionen información adicional, incluso información que no sería posible sacar directamente de un sistema real”.

1.1.4 Estado del arte

La industria azucarera está en crecimiento, un claro ejemplo es lo que se nos mencionan Aguilar Rivera, Galindo Mendoza, Fortanelli Martínez & Contreras Servín (2011) en su trabajo “Factores de competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar en México”. En este artículo se analizan algunos indicadores de competitividad económica y técnica para la

evaluación del desempeño de la industria azucarera mexicana, utilizando diversas herramientas (metodologías de benchmarking y diamante de Porter) para el análisis de parámetros de desempeño. Los resultados sugieren que existen numerosos factores técnicos y económicos que limitan el crecimiento, ya que la industria mexicana se ha mantenido altamente poco competitiva y necesita mejorar e innovar en la reducción de costos, particularmente en lo que respecta al desempeño del negocio del cultivo de caña de azúcar (costos de materia prima, cosecha y transporte), y el desarrollo de estrategias de planificación para mejorar la rentabilidad. La otra gran área identificada es la diversificación del proceso azucarero en base a subproductos (residuos, granzas, melazas, lodos de filtro y vinazas).

Por otra parte, Aguilar-Rivera, (2014) nos habla aún más del crecimiento y diversificación del mercado del azúcar en el artículo “Índice de diversificación de la agroindustria azucarera en México”. El objetivo de dicho trabajo fue determinar un índice de diversificación de las zonas de abasto cañero y de las fábricas de azúcar de México mediante la metodología multicriterio de Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica. Al incorporar criterios o factores tecnológicos y socioeconómicos relacionados con el balance material y energético de las fábricas de azúcar y derivados, y de productividad de los campos cañeros, fue posible determinar, mediante la resolución de la matriz de Saaty, que el rendimiento de campo y el acceso a riego y crédito, y el rendimiento de fábrica, número de bienes producidos y calidad de materia prima directamente en los ingenios y en municipios cañeros determinan 76% y 78%, respectivamente, de la capacidad de diversificación de la agroindustria azucarera.

Así mismo, Rabassa Olazábal, González Suárez, Pérez Sánchez, Miño Valdés y Pérez Martínez, (2016) proponen un procedimiento para formular, evaluar y validar las oportunidades de negocios que se presentan en las instalaciones de la industria azucarera cubana. Diseñaron un diagrama heurístico con el fin de identificar las principales opciones de procesos de producción industrial. Para su desarrollo, tomaron en cuenta criterios técnicos, económicos, sociales, ambientales y factores de riesgos, y aplicaron herramientas de Análisis de Gestión Desarrollo para lograr visualizar la mejor opción de negocio. Con la evaluación del negocio realizada se pudieron identificar indicadores técnicos, económicos y ambientales satisfactorios en la producción de D-xilosa y glucosa a partir de los residuos de la caña de

azúcar (bagazo). Finalmente, se estableció un procedimiento metodológico guía para evaluar oportunidades de negocio en la industria azucarera.

Como estrategia, la simulación puede dar resultados muy prometedores en lo relacionado a la planeación, tal como nos muestran Guerrero Hernández y Henriques Librantz (2014) en su trabajo titulado “Simulación de eventos discretos de la cadena logística de exportación de commodities”, en el cual se utilizan técnicas de simulación de eventos discretos como metodología de apoyo a la decisión en problemas complejos con diversas variables; El objetivo es modelar las operaciones logísticas involucradas en las exportaciones marítimas de commodities en la entrega de carga suelta y a granel desde doce empresas productoras a los puertos. Esta simulación nos permite analizar la sensibilidad de los principales parámetros y variables del sistema, para definir diferentes modelos de planificación de entregas. Los escenarios muestran que es posible obtener una reducción de los costos de inventario y mantenimiento, así como mejorar los indicadores de servicio y, como consecuencia, aumentar el nivel de utilización de recursos.

Otra aplicación de la simulación la podemos encontrar en el trabajo “Simulación y optimización para dimensionar la flota de vehículos en operaciones logísticas de abastecimiento-distribución”, desarrollado por Costa Salas y Castaño Pérez (2015). Este trabajo muestra el uso simultáneo de la simulación y la optimización en la planificación operativa logística, en particular para apoyar la toma de decisiones sobre el número de medios de transporte a utilizar en el proceso de distribución-suministro de mercancías. Este estudio fue desarrollado para una empresa cubana dedicada a los servicios de transporte y almacenamiento de mercancías. La aplicación de la herramienta propuesta nos permite sugerir el número óptimo de camiones a utilizar, teniendo en cuenta minimizar el tiempo de inactividad de los camiones y maximizar los niveles de servicio al cliente. Los resultados experimentales muestran mejoras significativas en la reducción de los tiempos de entrega y el aumento del número de pedidos satisfechos para los clientes de la empresa.

A pesar de que existen muchos softwares de simulación en la actualidad, uno de los mejores en la actualidad es el Software SIMIO. Este software es ampliamente utilizado para la simulación de procesos, como es el ejemplo del trabajo realizado por Fuentes-Rosas, López Cabrera, Tobón Galicia y Moras Sánchez (2019), titulado Análisis de la red logística de un cruce vial utilizando simulación en SIMIO para evaluar la alternativa de colocar un semáforo. En este trabajo se realizó un estudio de simulación en SIMIO para evaluar la factibilidad de colocar un semáforo en una intersección de la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, México. El problema en este cruce es que a determinadas horas del día se producen fuertes atascos, lo que tiene graves implicaciones para la seguridad vial tanto de conductores como de peatones. Se siguió la metodología de simulación propuesta por Law y Kelton (2014) y se obtuvo un modelo representativo del sistema real con un 95% de confianza. Las métricas de desempeño fueron evaluadas contra los criterios de Cal y Mayor y Cárdenas (2007) para la implementación del semáforo, logrando cada uno un cumplimiento superior al 80%, apoyando la colocación del semáforo como una alternativa viable para resolver el problema. el cruce.

Por otra parte, Valdivia Sánchez (2014) también presenta su trabajo basado en el Software SIMIO. Esta investigación, busca dar las herramientas, necesarias para poder mantenerse actualizado en esta tecnología informática. El propósito de este estudio fue desarrollar un modelo de simulación del proceso productivo de una empresa productora de pulpa de aguacate congelada en el software SIMIO. La metodología utilizada es aplicativa, es decir, cómo en la realidad se realizará la búsqueda de datos técnicos, procedimientos y herramientas para desarrollar un modelo de simulación. El resultado de este estudio es una simulación del proceso de producción de pulpa de aguacate congelada, el cual se demuestra utilizando el software desarrollado. Gracias a este software es posible simular el proceso de producción de pulpa de aguacate congelada, encontrar los distintos equipos necesarios para el proceso y establecer un procedimiento para desarrollar un modelo de simulación. El modelo fue simulado como se muestra en los resultados presentados por el software SIMIO.

1.2 Generalidades de la empresa

El presente proyecto se realizó en una empresa azucarera del estado de Veracruz (Véase Figura 1.1), considerada líder de la región, poseedora de cuatro ingenios azucareros y responsable del 7% de la producción de azúcar del país. Los avances tecnológicos y las innovaciones en los procesos industriales relacionados con la producción de azúcar y el cultivo y cosecha de la caña han convertido a la empresa en uno de los mejores grupos azucareros del país.



Figura 1.1 Ubicación del estado de Veracruz dentro de México. Fuente: Wikimedia Commons

Capítulo 2. Marco Teórico

La sacarosa o simplemente azúcar es un alimento (carbohidrato básico y esencial) para el ser humano, es una de las sustancias orgánicas más puras que se conocen, conteniendo un 99,96%. Es un disacárido formado por una molécula de glucosa (dextrosa) y una molécula de fructosa (levulosa). Consta de 12 átomos de carbono, 22 átomos de hidrógeno y 11 átomos de oxígeno con la fórmula condensada $C_{12}H_{22}O_{11}$ (oxígeno 51,42%, carbono 42,10%, hidrógeno 6,48%) con un peso molecular de 342,30. Es un sólido cristalino que carameliza a 160°C, es un azúcar no reductor y un polialcohol, tiene 3 grupos hidroxilo primarios (-CH₂OH 6,1' y 6') y 5 en posiciones secundarias (-CH-OH, 2, 3, 3', 4 y 4'). Se clasifica según el proceso aplicado para la extracción: El azúcar panela (piloncillo, rapadura, gur, azúcar moreno) se obtiene con el menor procesamiento industrial, tiene mayor nivel de humedad y color, y menor nivel de edulcorante puro. (75%), pero conserva una gran cantidad de oligoelementos y vitaminas sin perderlos en el procesamiento. Azúcar en bruto, moscabado o panela: elaborado con cristales de gran tamaño y conservando una capa de melaza rodeando cada cristal. Tiene sacarosa entre 96 y 98 grados. Cuando el azúcar alcanza los 99,5 grados, la sacarosa se llama azúcar blanca. El azúcar que ha alcanzado la máxima pureza, es decir, entre 99,7 y 99,9 grados, se llama azúcar refinada. (refined sugar). (Rodríguez et al., 2012).

2.1 Desarrollo de la industria azucarera

Es un hecho generalmente aceptado que la gramínea conocida como caña de azúcar, caña de azúcar, caña dulce (*Saccharum Officinarum*) o cañamiel (del latín medieval *canna mellis* o *cannamella*) fue traída desde su Asia natal por los árabes, y especialmente en la India, para varias partes del mundo, África y Europa, donde solían seguir los movimientos de migración, invasión y comercio con mayor producción. Al igual que otros productos agrícolas cultivados habitualmente en Europa o en las colonias africanas de los países del llamado Viejo Continente, el salto de la caña de azúcar a través del Atlántico fue un acontecimiento en el que participaron navegantes, conquistadores, colonialistas y monjes. Originarios de la Península Ibérica, los lusitanos trajeron la planta a Brasil y los hispanos a las Antillas y otras zonas de América del Norte y del Sur; Por tanto, el azúcar se convirtió en una materia prima

cuyo suministro y refinado estaba cada vez más gestionado por los países europeos a medida que cada vez más personas lo consumían.

A finales de 1493, cuando Colón llegó por segunda vez a América, entre una gran variedad de animales y vegetales, presentó lo que ha sido denominado como el “más grande regalo del Viejo al Nuevo Mundo – la caña de azúcar”.

La rápida metamorfosis de la caña con el suelo americano y el deseo por su dulzura de los anfitriones y colonos hispanos, y muy pronto de los propios pueblos originarios, propició que la gramínea se extendiera a la velocidad con la que los límites de la región eran superados por la conquista y formación de la “sacarocracia” y el sistema de cultivo de la caña de azúcar que impulsó el proyecto azucarero propició un cambio profundo en las redes de comercialización. a nivel regional (Aguilar Rivera, 2010).

2.2 Agroindustria azucarera de Veracruz México

En el estado de Veracruz, las actividades agroindustriales comenzaron con los conquistadores españoles en 1519 cuando Hernán Cortés trajo caña de azúcar desde Cuba a la región de San Andrés Tuxtla, Ver., cultivándola en Santiago Tuxtla a orillas del río Tepengo. en 1524 y el primer Trapiche se instaló en 1526 en lo que hoy se conoce como Paso del Ingenio. Se presenta una larga historia originada en el uso de la tierra como factor de producción y poder político; y al pasar de las colonias para satisfacer las necesidades de los mercados nacionales y europeos con un modelo productivo basado en la fuerza de trabajo (economía precapitalista de tipo primario), a otro modelo productivo caracterizado por la incorporación de maquinaria industrial en la época del Porfiriato, con la creación de la institución ejidal en 1937 y los decretos cañeros de 1943, 1974, 1975, 1981 y 1991 así como la Ley de Desarrollo Sostenible de la Caña de Azúcar de 2005 que fortaleció la relación entre los actores del sector y los productores, especialmente en lo que respecta al abastecimiento de caña de azúcar. y áreas de producción. pago de materias primas y expansión del cultivo desde los años 1970.

Actualmente es el principal cultivo perenne y agroindustrial del estado y representa el 39.7% del área total cultivada y del 37.8% al 39.6% del azúcar producido en el país durante la última década. Está ubicado en 173 municipios y 50,596 unidades productivas que conforman 25

zonas de abastecimiento de caña a ingenios e ingenios piloncileros en los estados de Veracruz, San Luis Potosí y Oaxaca. Sin embargo, actualmente muestra un desempeño medio a pobre en el sector azucarero a nivel nacional.

Según lo que se presenta en el artículo “Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México”, para Veracruz, tan solo los ingenios azucareros La Gloria, El Modelo, El Higo, Mahuixtlan, San Miguelito y El Potrero se encuentran por encima de la media nacional en la relación superficie/producción de azúcar. Por lo que los efectos que puede generar el estancamiento económico o insuficiencia de oferta de caña de azúcar, de este sector agroindustrial primario, que como actividad económica estructurante no puede ser desechado o sustituido por otro por su multifuncionalidad (alimentos, energéticos, fibras, función medio ambiental, social y rural entre otros), hace necesario generar múltiples escenarios con el fin de crear alternativas y facilitar procesos de decisión y ejecución para revertir o minimizar la productividad marginal (caña de azúcar, subproductos, etanol, azúcares, energía). En este sentido, la productividad del cultivo de caña de azúcar y la agroindustria en su conjunto, requieren nuevos abordajes prácticos que permitan a priori de forma confiable y útil la toma de decisiones y políticas públicas en planeación y gestión de actividades productivas y la supervivencia de la actividad productiva como ente social (Aguilar Rivera, 2014).

2.2.1 Índice de productividad de ingenios azucareros de Veracruz, México

Las áreas productoras de caña de azúcar no han logrado crear una simbiosis con nuevos enfoques metodológicos y sistémicos que tomen en cuenta la complejidad del cultivo de la caña de azúcar e integren información de diversas disciplinas como la meteorología, la climatología, la ciencia del suelo, el manejo de cultivos, la fisiología vegetal y la tecnología de producción. , y factores espaciales (suelo, clima, topografía, infraestructura, etc.), que sin duda afectan la competitividad de la propiedad y el trabajo normal del campo, donde las fábricas de azúcar toman en cuenta sólo una serie de factores basados en la experiencia, entre ellos se destacan los siguientes a cabo: percepciones de los patrones de crecimiento en cada sitio, desarrollo previo de cultivos, condiciones agroclimáticas pasadas y esperadas, condiciones de los campos de caña de azúcar y estimaciones previas a la cosecha de la

superficie, el rendimiento de los cultivos y el rendimiento de las fábricas.

Uno de estos abordajes es la matriz de ponderación de factores de productividad de la agroindustria azucarera (Galindo et al, 2010 y Martínez 1998) considerando los subsistemas campo y fábrica y a partir de los datos de instituciones oficiales y sectoriales es posible obtener un índice de productividad de clasificación de ingenios (véase Tabla 2.1 y Tabla 2.2)

Tabla 2.1 Matriz de ponderación de productividad de ingenios azucareros.

Fuente: Aguilar Rivera, 2014.

Ingenio		Grupo azucarero				Zafra	
Factores de productividad	Unidad	Puntos				Peso	Subtotal
		4	3	2	1		
Superficie cosechada	Miles ha	>12	12.-10	10-6.	<6	1	
Azúcar producida	Miles t	>80	80-70	70-50	<50	3	
Rendimiento de fábrica	%	>10	10.-9	9-8.	<8	3	
Extracción de sacarosa	%	>81	81-78	78-75	<75	3	
Pureza del jugo mezclado	%	>85	85-83	83-80	<80	3	
Pérdidas totales de sacarosa	%	<2	2-2.5	2.5-3	>3	4	
Total Fabrica de azucar							
Indice de Fabrica de azucar							
Caña molida	Miles t	>334	202-334	72-202	<50	3	
Rendimiento agroindustrial	t/ha	>8	8-7.	7-6.	<6	3	
Rendimiento de campo	t/ha	>100	100-80	80-70	<70	3	
Fibra en caña	%	<12.5	12.5-14	14-15	>15	3	
Sacarosa en caña	%	>15	15-13	13-11.	<11	4	
Total campo cañero							
Indice de campo cañero							
Total Ingenio							
Indice de ingenio							
Indice de Campo	Indice de fabrica	Indice de ingenio		Clasificación final			
(Total campo/0.8)	(Total fabrica/0.56)	(Total campo+fabrica/1.36)		(Campo+fabrica+ingenio)			
Alta productividad 100-75		Baja Productividad 64-55		Nivel de clasificación de ingenios azucareros			
Media productividad 74-65		Muy baja Productividad <55					

Tabla 2.2 Índice de productividad de Ingenios azucareros de Veracruz (Promedio zafra 1999/2012)
Fuente: Aguilar Rivera, 2014.

Calificación			Fábrica de azúcar					Campo Cañero			
No.	Ingenio	Valor	Rendimiento de fábrica (%)	Eficiencia de Fábrica (%)	Tiempos perdidos (%)	Consumo de petróleo/t caña	Perdidas de sacarosa (%)	Capacidad de Abastecimiento de caña (%)	Rendimiento de Campo (t/ha)	Relación sacarosa/fibra	Sacarosa en caña (%)
1	A. López Mateos	0.915	11.73	87.389	14.95	3.344	1.89	87.7	55.76	1.041	13.354
2	El Potrero	0.878	12.71	87.213	7.04	5.736	2.1	79.2	59.937	1.093	15.076
3	El Modelo	0.873	11.66	86.01	8.66	0.424	2.07	89.2	82.675	1.065	13.542
4	Providencia	0.858	11.48	83.057	10.5	8.356	2.43	89.3	58.529	1.187	14.117
5	Tres Valles	0.858	11.74	87.744	10.88	4.465	1.9	93.9	48.927	1.117	13.442
6	Zapoapita	0.833	11.83	81.585	20.32	1.321	2.73	83.9	68.743	0.835	12.002
7	La Gloria	0.822	12.0	85.343	17.22	0	2.04	78.5	81.846	1.083	14.095
8	Central Motzorongo	0.816	11.18	84.365	21.87	4.98	2.71	79.6	54.056	1.114	14.267
9	El Higo	0.792	11.31	85.212	16.08	0.003	2.07	83.9	76.381	0.970	13.821
10	Mahuixtlan	0.771	11.75	85.925	17.29	0	1.89	101.6	70.563	1.053	13.542
11	Central Progreso	0.768	12.54	85.443	19.18	0.337	2.42	90.5	43.189	0.970	15.068
12	Constancia	0.768	11.7	84.055	14.82	0	2.25	78.2	53.401	1.067	14.297
13	San Miguelito	0.726	11.7	82.457	16.21	1.891	2.73	82	71.09	0.999	13.782
14	San Nicolás	0.717	10.99	84.586	9.98	8.966	2.38	92.3	56.084	0.985	13.442
15	San Cristóbal	0.716	10.08	81.399	22.93	9.249	2.4	78.4	51.087	1.024	12.712
16	San José de Abajo	0.713	11.01	80.73	15.48	6.813	2.72	84.8	57.583	1.152	14.65
17	La Margarita	0.712	12.24	81.983	13.09	2.482	2.71	80.5	41.8	1.082	15.644
18	San Pedro	0.647	9.12	83.515	34.09	4.704	2.07	62.3	62.918	0.884	12.24
19	El Refugio	0.571	11	82.96	37.38	0	3.08	64	56.102	1.051	14.388
20	El Carmen	0.541	10.57	82.361	21.86	21.197	2.39	84.4	66.872	0.918	12.618
21	Cuatotolapam	0.520	9.48	80.001	11.54	11.437	3.6	81.3	55.939	0.889	13.088
22	Nuevo San Fco.	0.492	8.62	78.423	30.46	1.372	2.59	68.2	58.033	0.917	11.792
23	Independencia	0.411	6.29	67.885	73.67	12.916	4.72	28.1	44.74	0.771	10.971
24	La Concepción	0.400	8.58	69.734	51.32	27.42	3.71	36.9	64.082	0.891	12.244
25	San Gabriel	0.386	8.83	67.885	32.57	8.114	4.17	68.5	54.11	0.906	12.971
	Media Regional	0.700	10.80	81.89	21.97	5.82	2.63	77.88	59.77	1	13.48
	Media Nacional	0.788	11.12	81.80	18.6	4.8	2.53	80	67	1	13.7

Estos indicadores de la Organización Internacional del Azúcar (ISO, 2005) reflejan la eficiencia de los ingenios azucareros en su conjunto, desde el cultivo de la caña hasta la producción de azúcar, estos indicadores sirven como referencia como parámetros de medición comparativa del desempeño que muestran el nivel de eficiencia y productividad de una fábrica a otra. , incluso entre diferentes países. (Véase Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Productividad de los ingenios veracruzanos.

Fuente: Aguilar Rivera, 2014.

Subsistema campo cañero				Subsistema fábrica de azúcar			
No.	Ingenio	No.	Ingenio	No.	Ingenio	No.	Ingenio
1	El Higo	14	San Nicolas	1	A. López Mateos	14	Mahuixtlan
2	La Gloria	15	San Cristobal	2	Tres Valles	15	La Margarita
3	El Modelo	16	C. Progreso	3	El Potrero	16	San José
4	Mahuixtlan	17	El Carmen	4	Providencia	17	San Pedro
5	C. Motzorongo	18	Constancia	5	Zapoapita	18	San Miguelito
6	El Potrero	19	San Pedro	6	El Modelo	19	Nuevo San Fco
7	San Miguelito	20	Cuatotolapam	7	Constancia	20	El Carmen
8	Providencia	21	El Refugio	8	C. Progreso	21	El Refugio
9	Zoapita	22	La Concepción	9	C.Motzorongo	22	Cuatotolapam
10	Tres Valles	23	Independencia	10	La Gloria	23	Independencia
11	A. Lopez M.	24	San Gabriel	11	San Cristóbal	24	San Gabriel
12	San José	25	Nuevo San Fco.	12	San Nicolás	25	La Concepción
13	La Margarita			13	El Higo		

En este sentido, en la tabla anterior, se puede hacer una diferenciación preliminar que identifique a los ingenios con el mejor campo azucarero o la mejor central azucarera o la correcta aplicación de tecnologías en ambos casos; Sin embargo, la metodología utilizada para este período establece una estructura de ingenios que toma en cuenta cada uno de los factores del campo y de la fábrica, en dos grupos de productividad alta y media a baja, es decir. h. por encima y por debajo del promedio nacional del índice de productividad como indicador compuesto. Para el primer grupo formado por 10 ingenios: Adolfo López Mateos, El Potrero, El Modelo, Providencia, Tres Valles, Zapoapita, La Gloria, Central Motzorongo y El Higo presentaron en su conjunto indicadores positivos en campo y fábrica, inclusive por encima de la media nacional, principalmente en las características de la fábrica de azúcar con respecto al máximo de su capacidad en cada fase de transformación (manejo de caña, molienda, planta de vapor, planta eléctrica, clarificación, evaporación, tachos, condensación y vacío, cristalizadores, centrifugación, refinería, secado y envase) el nivel de automatización, y el estado de la tecnología (obsolescencia, innovaciones, mantenimiento y la formación y capacitación de los operadores). Sin embargo, para el segundo grupo de 15 ingenios azucareros: : Mahuixtlan, Central Progreso, Constancia, San Miguelito, San Nicolás, San Cristóbal, San José de Abajo, La Margarita, San Pedro, El Refugio, El Carmen, Cuatotolapam, Nuevo San Francisco, Independencia, La Concepción y San Gabriel, la

productividad local es una prioridad que les permitirá recuperar la rentabilidad en el corto y mediano plazo, principalmente en estas regiones proveedoras de caña de azúcar, que son altamente vulnerables a los impactos climáticos y se caracterizan por una alta vulnerabilidad a cambios ambientales (plagas, enfermedades, sequías, etc.).

2.3 Simulación

La simulación es una herramienta de bastante utilidad en distintas áreas de estudio, como lo es la industria automotriz, permitiendo evaluar sistemas complejos mediante modelos virtuales sin la necesidad de modificarlos. En esta sección serán descritos los fundamentos básicos y necesarios para comprender de mejor manera lo que es una simulación orientada a un proceso.

2.3.1 Definición de simulación

Una adecuada definición de lo que es una simulación, la da Law (2015) quien dice “en simulación usamos una computadora para evaluar un modelo numérico, y los datos son tomados para estimar las verdaderas características del modelo”, lo cual es una breve descripción, pero resume adecuadamente la idea de una simulación, que es representar un sistema real y obtener características en específico.

Según Allen Joines & Dean Roberts (2015), “la simulación es una herramienta de mejora del rendimiento. La simulación actúa como un laboratorio experimental, excepto que nuestro el laboratorio no es físico, sino un modelo informático”.

Otra definición se encuentra en Coss Bu (1999) que definen a la simulación como un proceso para diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

2.3.2 Objetivo de una simulación

Riverola & Cuadrado (2003) mencionan que “el propósito de la simulación es que el decisor entienda mejor el modelo, no se crea los números que produce el modelo” haciendo referencia a que de nada sirve llevar a cabo una simulación si únicamente se busca obtener resultados numéricos, puesto que estos datos pueden variar entre simulaciones debido a las

probabilidades o la incertidumbre. “¡Olvídese de los números! Lo importante es entender las relaciones cualitativas (y a veces hasta cuantitativas) entre los diferentes elementos del modelo”, dejando en claro que el principal objetivo de la simulación es la representación del sistema real mediante una simulación para comprender el comportamiento de éste.

Es evidente la importancia de los datos generados, sin embargo, esos datos deben ser tratados con especial cuidado para poder hacer las interpretaciones correctas acerca del sistema, el cual una vez que es comprendido correctamente, la interpretación de la información generada por la simulación será adecuada.

De igual manera en Allen Joines & Dean Roberts (2015) mencionan que “nosotros utilizamos la simulación para imitar el comportamiento de sistemas como fábricas, almacenes, hospitales, bancos, supermercados, parques temáticos: casi en cualquier lugar donde se brinde un servicio o se produzca un artículo, por lo que podemos investigar varios aspectos antes de hacer recomendaciones”.

2.3.3 Aplicaciones de la simulación

Al entender a la simulación como una manera de representar a una situación real mediante un modelo, es importante saber de qué maneras se puede aplicar la simulación. En Jiménez Avelló, Castro Gil, & Costa García (2015) se describen algunas posibles aplicaciones basadas en el objetivo que se busca conseguir, dichas aplicaciones son las siguientes:

1. El análisis de sistemas: Se pretende estudiar el comportamiento de los mismos, con el objetivo de alcanzar un mayor conocimiento de ellos.
2. El diseño de sistemas: Producir sistemas cuyas características de funcionamiento satisfagan unas especificaciones fijadas a priori. En este caso, partiendo del conocimiento del sistema, hay que predecir su comportamiento futuro y compararlo con las especificaciones.
3. La postulación de sistemas: Se trata de obtener modelos posibles de sistemas reales existentes. En el proceso normal de simulación se pretende obtener el comportamiento del sistema a partir de su modelo, por lo que la postulación es en

realidad el proceso inverso donde se pretende obtener, a partir del comportamiento del sistema, un modelo que lo satisfaga.

2.3.4 Ventajas y desventajas de la simulación

Con la finalidad de comprender mejor la simulación, se presentan las ventajas y las desventajas presentes al utilizar una simulación.

2.3.4.1 Ventajas

En Marín Amador (2019) se definen las siguientes ventajas:

- Elegir correctamente. La simulación permite probar todos los aspectos de un cambio propuesto o alguna adición sin comprometer recursos para su adquisición.
- Comprimir o expandir el tiempo. Permite acelerar o reducir el fenómeno que se está simulando para que se pueda investigar cuidadosamente.
- Entender ¿Por qué? Es capaz de mostrar a los administradores porque ciertos fenómenos ocurren en un sistema real.
- Explorar posibilidades. Una de las más grandes ventajas de usar un software de simulación es que una vez que se ha construido un modelo de simulación válido, se pueden explorar nuevas políticas, procedimientos de operación, o métodos sin el gasto e interrupción de experimentar con el sistema real.
- Diagnosticar problemas. Las fábricas modernas son muy complejas, es por ello que es imposible considerar todas las interacciones que toman lugar en un momento dado.
- La simulación permite entender mejor la interacción entre ellas incrementando el entendimiento de sus principales efectos sobre el sistema completo.
- Identificar restricciones. Los cuellos de botella de un sistema presentan limitaciones, pero por medio de la simulación se pueden descubrir la causa de los retrasos en el trabajo en proceso, en información, materiales, etc.
- Desarrollar entendimiento. Los estudios de simulación ayudan a entender a un sistema e inferir acerca de cómo un sistema se comportará.

- Visualizar el plano. Dependiendo del software usado, éste puede ser capaz de mostrar las operaciones desde varios ángulos y niveles de magnificación, y aun en tercera dimensión.
- Construir consensos. Usando simulación para presentar cambios en el modelo crea una opinión objetiva, ya que evita tomar inferencias cuando se aprueba y desaprueba, debido a que simplemente se seleccionan los diseños y modificaciones que brindan los resultados más deseables.
- Preparar para el cambio. Los modelos de simulación ayudan a responder a la pregunta ¿qué pasa sí?, lo cual resulta útil en el diseño de nuevos sistemas o en el rediseño de sistemas ya existentes.
- Invertir inteligentemente. El costo típico de un estudio de simulación es substancialmente menor al 1% de la cantidad total que será empleada para la implementación de un diseño o rediseño de un cambio o modificación para un sistema, es por ello por lo que la simulación es considerada una inversión sabia.
- Especificar requerimientos. La simulación es en un momento dado usada para especificar requerimientos para un diseño de sistema. Por ejemplo, mediante la simulación de diferentes capacidades de una máquina, los requerimientos pueden ser establecidos.

2.3.4.2 Desventajas

Por otra parte, Marín Amador (2019) presenta las desventajas de la simulación:

- La construcción del modelo requiere entrenamiento especial. Es una herramienta que es aprendida a través del tiempo y de la experiencia.
- Los resultados de la simulación pueden ser difíciles de interpretar. La mayoría de los resultados de una simulación son esencialmente variables aleatorias, lo que podría ser difícil de determinar si una observación es el resultado de una interrelación o aleatoriedad.
- El análisis y modelación de la simulación podría ser caro y consumir tiempo. El escatimar en recursos para la modelación y análisis puede resultar en un modelo de simulación y/o análisis que no es suficiente para la tarea.

- Simulación puede ser usada inapropiadamente. La simulación es usada en algunos casos cuando una solución analítica es posible y preferible.

2.3.5 Simulación de eventos discretos

En Law (2015) se define a la simulación de eventos discretos como “La simulación de eventos discretos se refiere a la modelación de un sistema y su comportamiento a lo largo del tiempo, siendo una representación en la que las variables cambian instantáneamente en diferentes puntos del tiempo (matemáticamente se dice que el sistema puede cambiar en solo en un número contable de puntos en el tiempo). Estos puntos en el tiempo son aquellos en los que ocurre un evento, donde un evento se define como una ocurrencia instantánea que puede cambiar el estado del sistema.”

De igual manera, respecto a la complejidad para desarrollar una simulación mediante cálculos manuales Law (2015) explica que, dada la cantidad de datos a manipular y almacenar para la mayoría de los sistemas del mundo real, estas simulaciones deben ser realizadas mediante computadora.

Otra definición dada por Urquía Moraleda y Martín Villalba (2013) respecto a un evento discreto es “las variables del modelo cambian únicamente en determinados instantes de tiempo, manteniéndose constante el resto del tiempo”, teniendo que el tiempo que transcurre entre estos eventos puede ser cualquiera.

2.4 Software de simulación Simio

Simio es un software de simulación y modelado por computadora que le permite crear y simular sistemas de modelos dinámicos animados en 3 dimensiones con una amplia gama de opciones, como líneas de producción, departamentos de emergencia, aeropuertos, etc. Simio utiliza un objeto de aproximación para modelar, por lo tanto, los modelos se crean combinando objetos que representan los componentes físicos de los sistemas que se representan.

En Simio, cada objeto tiene su propio comportamiento, determinado por su modelo interno, que reacciona a los eventos del sistema. Por ejemplo, una línea de producción se construye

colocando objetos que representan las máquinas, transportadores, pasillos y objetos necesarios para que funcione.

Se pueden construir modelos mediante los objetos proporcionados en la librería de objetos estándar. También es posible construir librerías propias de objetos para que sean específicas para un área de trabajo o modificar y extender el comportamiento del objeto de la librería usando procesos lógicos.

Un objeto o modelo se define por sus propiedades, estados, eventos, apariencia externa y lógica interna. Las propiedades del objeto son valores internos que puede definir el usuario. Por ejemplo, un objeto que representa un servidor puede tener una propiedad de tiempo específica. Estas son las claves de Simio para entender la construcción y uso de los objetos. Los estados de los objetos son valores dinámicos que pueden cambiar a medida que se ejecuta el modelo. Por ejemplo, la capacidad y el estado de suspensión de un objeto de servidor se pueden actualizar mediante una variable de estado que cambia el objeto cada vez que comienza o finaliza un servicio o actividad.

Los eventos son acciones que el objeto puede hacer en tiempos seleccionados. Por ejemplo, un servidor puede lanzar una acción cada vez que complete una actividad, o un tanque puede lanzar una acción cada vez que esté lleno o vacío. Los eventos son útiles para informar a otros objetos de que algo importante acaba de ocurrir.

La lógica de un objeto es un modelo interno que define como el objeto responde a eventos específicos que pueden ocurrir. Por ejemplo, un servidor puede tener un modelo que especifique que acciones se tomarán a cabo cuando una entidad llegue al servidor. El modelo interno da al objeto su comportamiento. Los objetos presentes en la biblioteca estándar en Simio representan a un objeto físico, un dispositivo o un elemento, los cuales se agregan fácilmente arrastrando desde la biblioteca hasta la ventana de trabajo (Félez Blasco & Oliveros Colay, 2014).

2.4.1 La interfaz de usuario.

La visión inicial de un proyecto en Simio se expone abajo. Las áreas clave en esta pantalla incluye las barras en la parte de arriba, las vistas del panel de pestañas con el plano destacado

justo debajo de las barras, las librerías a la izquierda, el panel de cambio en la derecha y la ventana del plano justo en el medio.

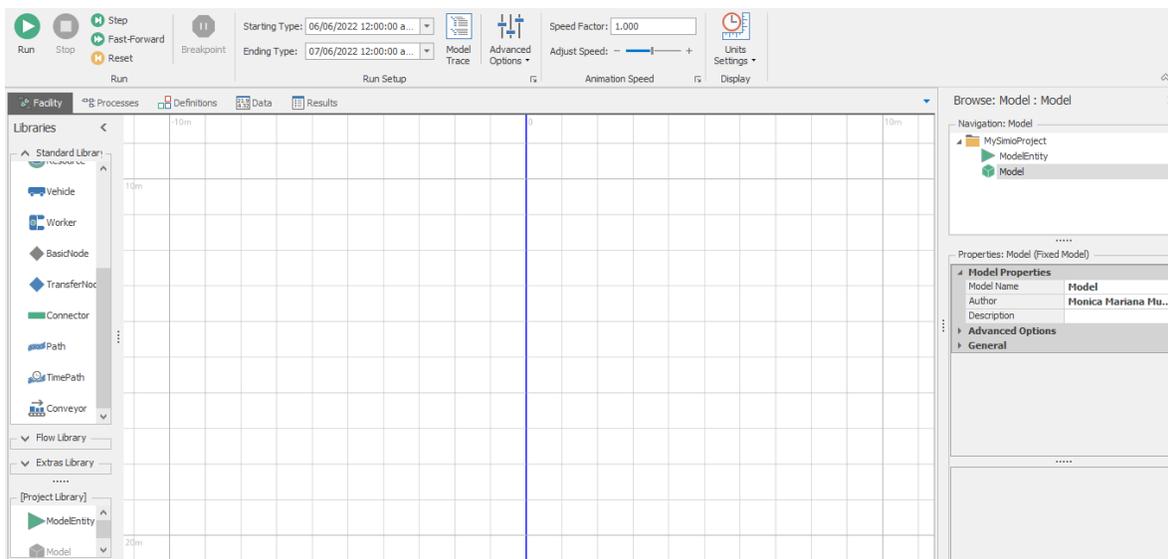


Figura 2.1 Interfaz Gráfico de SIMIO

Las pestañas son paneles con los botones más utilizados para acceder rápidamente a las distintas funciones para crear, animar y ejecutar los modelos. Puede cambiar de pestaña manualmente seleccionando la pestaña directamente. El panel derecho permite la navegación a través del proyecto y la edición de propiedades de los objetos cuando se seleccionan en la ventana del modelo. La ventana de navegación encima de la ventana de propiedades se utiliza para cambiar a la página de inicio, Simbits (ejemplos de modelado simples), la vista del proyecto y los modelos y experimentos asociados. Cuando se selecciona la ventana de dibujo de un modelo, el panel Bibliotecas enumera las bibliotecas que están abiertas y disponibles para modelar el dibujo. Las bibliotecas incluyen la biblioteca estándar, la biblioteca de proyectos y cualquier proyecto adicional cargado como biblioteca. La biblioteca estándar es una biblioteca de uso general agregada por Simio para modelado.

La librería de proyectos es una librería de objetos correspondientes a modelos comunes en un proyecto. Esta propiedad permite usar modelos propios del proyecto como submodelos que pueden ser incluidos múltiples veces dentro del modelo.

La ventana de plano está en el centro, es un espacio de dibujo para construir el modelo base. Esta ventana se muestra cuando la pestaña del árbol de navegación está en el modelo. Este espacio se usa para crear tanto la base lógica de objetos como para la animación del modelo.

Justo encima de la ventana de plano están las pestañas de procesos (Processes), definiciones (Definitions), datos (Data), tablero de instrumento (Dashboard) y resultados (Results). La pestaña de procesos se usa para definir los procesos lógicos encargados de ampliar la lógica del modelo. La ventana de definición se utiliza para definir los diversos aspectos del modelo, como por ejemplo la vista externa y las propiedades, estados, características y eventos asociados al modelo. El área de datos define datos que el modelo puede utilizar e importar y exportar a fuentes de datos externas. El panel de instrumentos proporciona un dibujo 2D para colocar botones, diales y recursos para monitorear e interactuar con el modelo en tiempo real. La ventana Resultados contiene la salida del modelo en forma de cuadrícula con los resultados de la animación.

2.4.2 Objetos y librerías.

Los objetos dentro de la librería estándar son básicamente cinco:

- Fijo (Fixed): Tiene una localización fija en el sistema como una máquina.
- Enlace (Link): Provee una vía por la que se mueven las entidades.
- Nodo (Nodo): Define una intersección entre uno o más links. Los nodos pueden ser asociados también con objetos fijos para proveer puntos de entrada o salida para el objeto.
- Entidad (Entity): Define un objeto dinámico que puede ser creado y destruido, movido sobre una red de links y nodos y entrar y salir de objetos fijos por sus nodos asociados.
- Transporte (Transporter): Define un tipo especial de identidad que también puede llevar y dejar otras entidades en los nodos.

Estos tipos de objetos tienen definido el comportamiento general configurado, pero no el comportamiento específico, el comportamiento específico de un objeto se define mediante la tabla de propiedades interna que proporciona Simio para ese objeto. Por ejemplo, se puede

tener una librería con media docena de transportes diferentes, cada uno con su propio comportamiento.

La librería estándar incluye objetos de todos estos tipos excepto el de tipo identidad, ya que la entidad está definida en la librería de proyecto.

La librería estándar contiene los siguientes objetos:

- Entrada (Source): Genera objetos entidad de un tipo específico y con un patrón de tiempo de llegada.
- Salida (Sink): Destruye las entidades que van completando el proceso en el modelo
- Servidor (Server): Representa un proceso capacitado como una máquina o un servicio de operación.
- Estación de trabajo (Workstation): Representa una estación de trabajo complejo con propiedades de configuración, procesamiento, fases de montaje y desmontaje, recurso secundario y necesidades de material.
- Mezclador (Combiner): Combina varias entidades miembro junto con una entidad matriz
- Separador (Separator): Divide un grupo de entidades por lotes o hace copias de una entidad.
- Recurso (Resource): Un objeto genérico que puede ser recogido y entregado por otros objetos.
- Vehículo (Vehicle): Vehículo que puede seguir una ruta fija o llevar a cabo un transporte por demanda de recogida y entrega. Adicionalmente, en una ruta en demanda puede ser usado como recurso móvil que es aprovechado para tareas alternativas al transporte.
- Trabajador (Worker): Recurso móvil que puede ser aprovechado para el transporte de entidades entre localizaciones de nodos o requerido para estar presente en otras actividades.
- Nodo básico (BasicNode): Intersección simple entre múltiples links.

- **Nodo de transferencia (TransferNode):** Intersección compleja para cambiar el destino o el modo de viaje.
- **Conector (Connector):** Viaje en tiempo cero entre dos nodos.
- **Vía (Path):** Vía por la que la entidad puede moverse independientemente a su propia velocidad.
- **Vía por tiempo (TimePath):** Vía por la que la entidad viaja a una determinada velocidad.
- **Cinta de transporte (Conveyor):** Vía que modela tanto dispositivos transportadores acumuladores como no acumuladores.

La librería estándar es simplemente un proyecto en Simio que contiene una colección de modelos a los que se les ha dado aspecto externo y se les han asociado propiedades que controlan su comportamiento.

2.5 Metodología de Simulación

La metodología propuesta para el presente proyecto será basada en los 10 pasos de simulación propuestos en Simulation Modeling and Analysis Law (2015), los cuales serán definidos e interpretados a continuación de acuerdo con el presente proyecto:

- **Definición del Problema:** Toda simulación comienza con un problema bien determinado que puede ser proporcionado por la empresa o planteado por el analista. Esta es la etapa en que se identifican los problemas más relevantes del sistema. La importancia de esta etapa radica en que si el problema no está bien entendido con seguridad el modelo fracasará.
- **Recolección de los datos del sistema:** Como su nombre indica, en esta etapa se recolectan los datos relevantes, como tiempos de proceso, número de empleados, velocidades de las máquinas, las cuales van a ser utilizadas para construir el modelo de simulación.
- **Análisis estadístico y validación de los datos recolectados del sistema:** Los datos que se hayan recolectado se analizan con el propósito de conocer con que distribución de probabilidad se comporta el conjunto de los datos. Para poder realizar esta identificación,

los autores utilizan la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrada, Kolmogorov-Smirnov, o Anderson-Darling con un nivel de significancia de 0.05.

- **Construcción del Modelo de Simulación:** Se debe tener conocimiento del software de simulación, con el cual se construirá el modelo de simulación. Para este proyecto se utilizará el software de simulación llamado SIMIO®. La idea principal es representar al sistema real por medio de la simulación, enfocándose en que los elementos clave y datos obtenidos estén presentes, sin entrar en una representación detallada.
- **Realizar corridas piloto:** Se realizan corridas de prueba del modelo dentro del software de simulación para obtener los primeros datos generados por el modelo planteado.
- **Validación los datos obtenidos en las pruebas piloto:** Basándose en los datos generados en el paso 5, se realiza una prueba t-pareada con la intención de probar si el modelo genera datos estadísticamente iguales a los del sistema real.
- **Diseño de Experimentos:** Se identifica, el número de réplicas óptimas para minimizar el margen de error.
- **Correr el modelo de simulación:** Realizar el número óptimo de corridas obtenido en el paso 7, y registrar los datos obtenidos en cada una de estas corridas, específicamente de aquellos parámetros que fueron considerados como los más representativos en el paso 2. De igual manera en este paso es donde se pueden realizar algunos cambios al modelo del sistema actual en busca de generar datos para analizar al sistema bajo esas modificaciones.
- **Alternativas de Mejora o Modelo Alternativo:** Las alternativas de mejoras son las propuestas de los cambios al sistema, para después compararse con el modelo original u otros modelos para seleccionar el mejor.
- **Resumen de Resultados:** Se debe realizar un reporte de todo lo realizado durante el desarrollo del proyecto. En esta etapa se hace un resumen de los resultados obtenidos, modelos generados, gráficas y videos de la simulación, esto con el enfoque de mejora para el sistema y los impactos encontrados en las alternativas propuestas.

Con la intención de entender de mejor manera la metodología presentada, se muestra un diagrama de flujo con todos los pasos y puntos de decisión que se deben tomar en cuenta dentro de esta metodología. En la Figura 2.2 se puede consultar este diagrama.

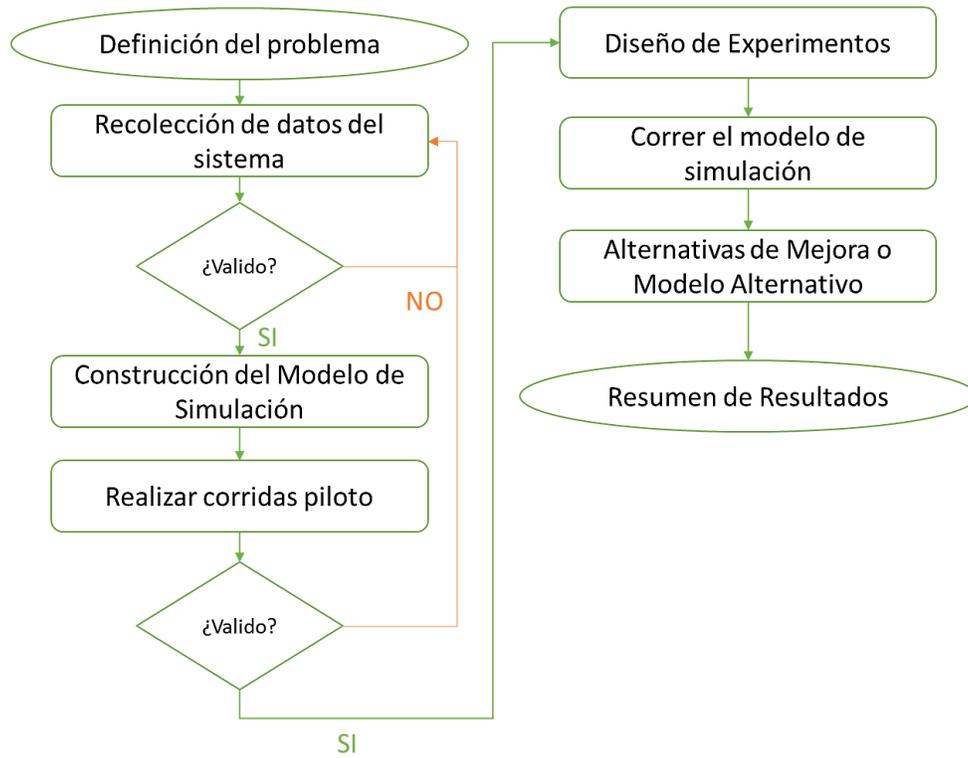


Figura 2.2 Diagrama de flujo de la metodología de simulación.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología de simulación

A continuación, se presenta el desarrollo de la metodología de acuerdo con los diez puntos mencionados en el capítulo 2.

3.1 Definición del Problema

El propósito de esta investigación es simular y mejorar el proceso de un nuevo centro de distribución de azúcar por bulto que se está construyendo. El recurso principal será el software de simulación SIMIO, con el cual primero se simulará el proceso planeado y después se realizarán experimentos con diferentes escenarios para observar el comportamiento del proceso con algunas modificaciones.

Por el momento no se necesitará una inversión adicional, dado que para el escenario actual ya se ha presupuestado en el proyecto de construcción, para las propuestas de mejora también se presentará el costo por las modificaciones para que sean contempladas en la toma de decisiones, por lo que el proyecto es factible de realizarse ya que se tiene el software de la institución y el apoyo de la gerencia de la empresa, así como los medios económicos.

3.2 Recolección de datos del sistema

Los datos del sistema fueron proporcionados por la misma empresa, por medio de archivos con base de datos históricos acerca de la producción, almacenamiento, tiempos de carga y descarga de azúcar, de otros ingenios que posee la empresa y que están operando actualmente.

Dado que el proyecto presentado para esta tesis, aún se encuentra en etapa de planeación y edificación, los datos propuestos se basan en el comportamiento de la producción en los ingenios ya establecidos por la empresa, y los procesos se calculan en base a las especificaciones de la maquinaria y datos obtenidos previamente en otros proyectos similares de la empresa.

3.3 Análisis estadístico y validación de los datos recolectados del sistema

Como se especifica en el apartado anterior, los datos con los que se cuentan son limitados y algunos pronosticados, debido a que el nuevo centro de distribución se encuentra en fase de proyecto.

3.4 Construcción del Modelo de Simulación

Obtener un modelo base de un modelo conceptual.

Con base en la información presentada por la empresa, se conceptualizó un modelo de simulación, el cual se muestra en la Figura 3.1.

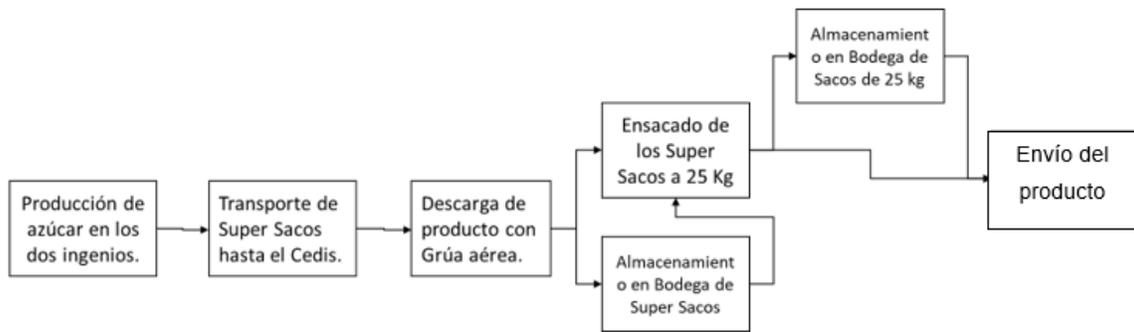


Figura 3.1 Modelo base. Elaboración Propia.

La modelación del nuevo Centro de Distribución (CEDIS) comenzará con la producción de azúcar en los dos ingenios que fueron asignados para este centro de distribución. En estos dos ingenios se obtendrán “super sacos”, que son sacos de 1.5 toneladas, y se transportarán por medio de tractocamiones hacia el centro de distribución.

Cuando la unidad de transporte se encuentre en el centro de distribución, los camiones serán descargados por medio de una grúa aérea, misma que cargará los vehículos internos que llevarán el super saco a la siguiente etapa. Los vehículos pueden transportar los super sacos al área de ensacadora o al área de almacenamiento de super sacos, esto dependerá de la demanda y utilización de las ensacadoras. Si la carga es llevada al área de almacenamiento, se quedará ahí hasta que sea requerida para cubrir la demanda de azúcar.

Cuando los super sacos son llevados al área de ensacado, serán elevados para ser vertidos en las tolvas de las ensacadoras, donde el azúcar se verterá en sacos de 25 kg, para así tener la presentación requerida para venta.

Los sacos de 25 kg avanzarán por una banda transportadora donde pueden ser llevados en el almacén correspondiente o directamente al área de carga del camión para ser transportado al siguiente punto de distribución en venta. En la carga del camión es donde termina el modelo.

3.4.1 Modelado en SIMIO

Con el modelo conceptual definido, podemos comenzar con el modelado del futuro proceso en el software SIMIO. Para tener un modelo más apegado a la realidad, la distribución de la planta dentro del modelo estará basado en el layout del centro distribución proporcionado por la empresa y que se presenta en la Figura 3.2.

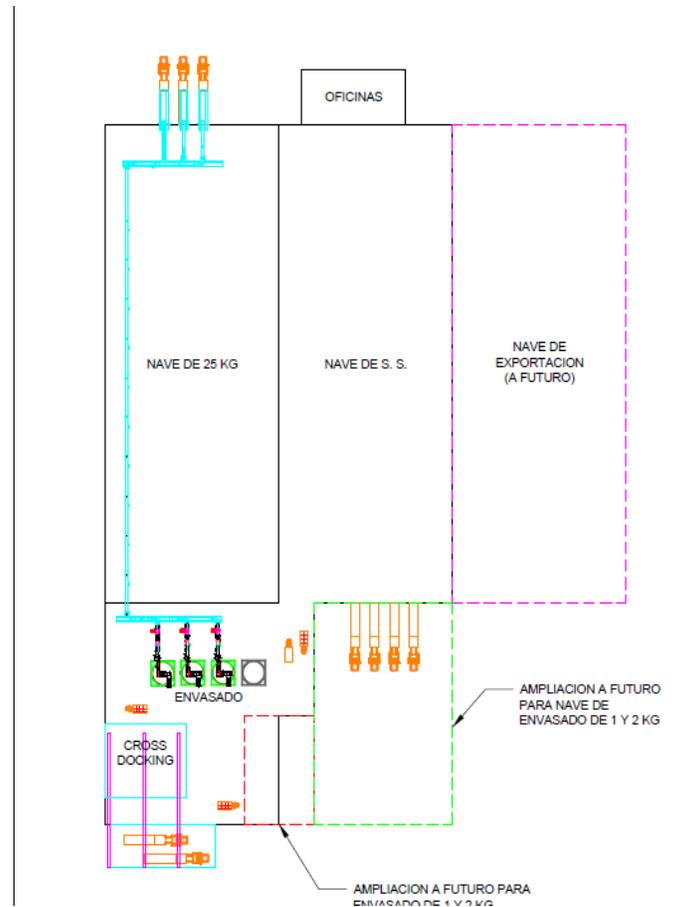


Figura 3.2 Layout del nuevo Centro de Distribución (CEDIS)

Respecto a lo observado en la Figura 3.1 y Figura 3.2, el proceso que se simula es complejo y forma parte importante de la cadena de suministro del producto, por lo que se requirió del uso de varios elementos y programaciones para obtener resultados apegados a la realidad que consideren las variables más importantes y determinantes para el modelo.

Es por ello que se consideraron cuatro áreas importantes dentro del modelo, cada una con elementos y programación diferentes, para cumplir con los requerimientos específicos de cada una. A continuación, se presenta la Tabla 3.1, donde se define cada una de las áreas con su nombre y los procesos que llevan a cabo. Posteriormente, se presenta un desglose de cada área, incluyendo objetos, tablas, procesos, definiciones, etc. para comprender mejor el funcionamiento interno del modelo de simulación.

Tabla 3.1 Áreas de división del modelo del CEDIS. Fuente: Elaboración Propia

Área	Descripción breve
Ingenios	Comprende la representación de los ingenios que alimentarán al CEDIS (Ingenio M e Ingenio SP), carga de camiones y transporte de los ingenios al CEDIS.
Descarga/Grúas	Abarca el área de grúas donde se descargan los camiones de super sacos, y se colocan en los vehículos internos del CEDIS.
Enscado	Representa el área donde se encuentran las ensacadoras, el proceso de ensacado y la distribución a otras áreas del CEDIS
Almacenamiento	Abarca los dos almacenes, de super sacos y de sacos de 25 kg, su logística de entrada y salidas.

La primera área, llamada área de ingenios, como la Tabla 3.1 lo indica, abarca la producción dentro de los ingenios, Ingenio M e Ingenio SP, y el transporte al CEDIS. El primer reto que enfrentamos en esta área fue lograr que el sistema simulara la llegada de super sacos y que estas llegadas fueran representativas y acorde con los datos históricos de la empresa y sus pronósticos para años futuros. Con apoyo de la información histórica que proporcionó la empresa, se notó que la llegada de super sacos variaba cada mes a lo largo de la zafra.

Starting Offset	Ending Offset	Rate (events per hour)
Day 1, 00:00:00	Day 8, 00:00:00	7.98
Day 8, 00:00:00	Day 15, 00:00:00	7.98
Day 15, 00:00:00	Day 22, 00:00:00	22.94
Day 22, 00:00:00	Day 29, 00:00:00	22.94
Day 29, 00:00:00	Day 36, 00:00:00	22.94
Day 36, 00:00:00	Day 43, 00:00:00	22.94
Day 43, 00:00:00	Day 50, 00:00:00	18.35
Day 50, 00:00:00	Day 57, 00:00:00	18.35
Day 57, 00:00:00	Day 64, 00:00:00	18.35
Day 64, 00:00:00	Day 71, 00:00:00	18.35
Day 71, 00:00:00	Day 78, 00:00:00	18.35
Day 78, 00:00:00	Day 85, 00:00:00	20.95
Day 85, 00:00:00	Day 92, 00:00:00	20.95

Figura 3.3 Extracto de Rate Tables del objeto "Ingenio M"

Como podemos observar en la Figura 3.3, los tiempos de llegada fueron asignados por semana en la *Rate Table* de Simio para el Ingenio M. Se tuvieron que hacer varios cálculos para obtener los datos correctos para estas tablas, comenzando por obtener a cuanto equivaldría la producción de una hora para que la sumatoria coincidiera con la producción semanal de super sacos, y de esta manera obtener el número de eventos por hora (rate).

Se hizo el mismo procedimiento para las 28 semanas de zafra que se calcularon, que dan un total de 189 días de trabajo en total por ingenio. Del mismo modo se creó una *Rate Table* para el Ingenio SP. Cada *Rate Table* fue invocada en el modelo a través de las propiedades de cada Source, como podemos ver en la Figura 3.4.

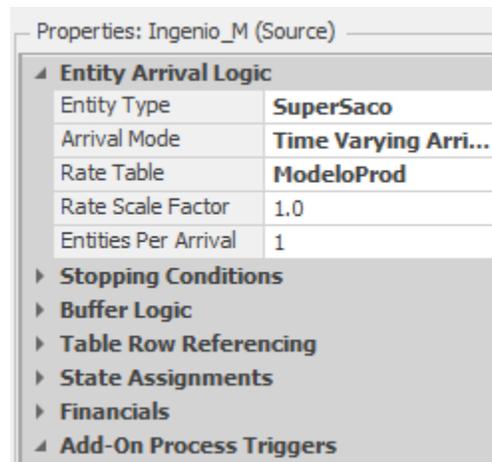


Figura 3.4 Propiedades de Source "Ingenio_M"

Para la construcción del modelo se utilizaron diferentes elementos de la biblioteca de Simio, dependiendo la finalidad o representación de cada área. Para representar los ingenios, se utilizaron *sources*, dado que representan las entradas y en esta área es donde se crean los nuevos elementos del sistema. Dentro de la lógica del sistema, los ingenios serán la entrada de producto (Super sacos) dentro del modelo, y abastecerán al centro de distribución durante los 6 meses de zafra (véase Figura 3.5).

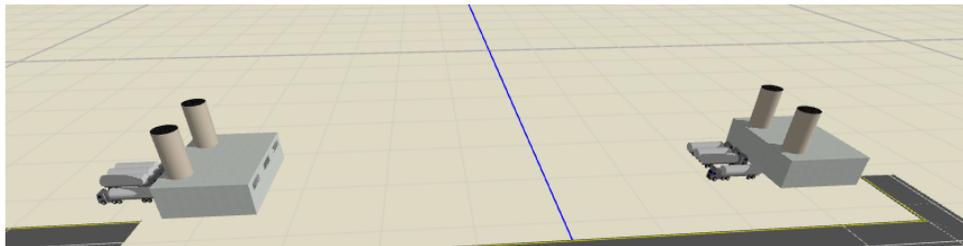


Figura 3.5 Ingenios representados por Source

Por otra parte, el *source* como objeto de entrada, será el responsable de la creación de las *model entity* del sistema. La *model entity* representará el producto, los sacos de azúcar en el caso de esta simulación, y será el objeto base que sufrirá los cambios del proceso. La entidad creada por los *sources* es *SuperSaco* (véase Figura 3.6)



Figura 3.6 Model Entity *SuperSaco*

Otra programación importante dentro del modelo es un contador de super sacos, que es de utilidad para conocer el número de super sacos que entran a la simulación. El primer paso fue definir la variable *TotalSS*, este procedimiento se realiza en la ventana *Definitions*, donde se agregó un *State Variable* de tipo real (véase Figura 3.7). Para que la *State Variable* cumpla la función de contabilizar el total de super sacos del sistema, se creará un proceso en la ventana *Process*, el cual utilizará un step llamado *Assign* (véase Figura 3.8), que tiene la función de asignar valores a las variables, en este caso agregará el valor de 1 a la variable *TotalSS* cada vez que se active el proceso, como se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.7 State Variable de Super Sacos

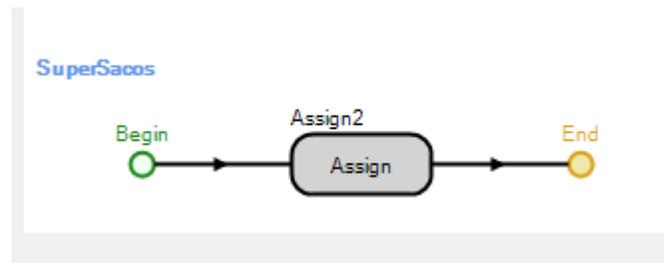


Figura 3.8 Proceso de contador de Super Sacos

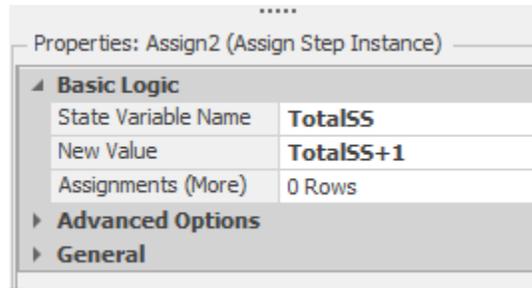


Figura 3.9 Propiedades del Proceso de contador de super sacos

Después, se invocó el proceso dentro de la simulación agregando el proceso *SuperSacos* como un *Add-on Process Triggers* en las propiedades de los *sources* (véase Figura 3.10)

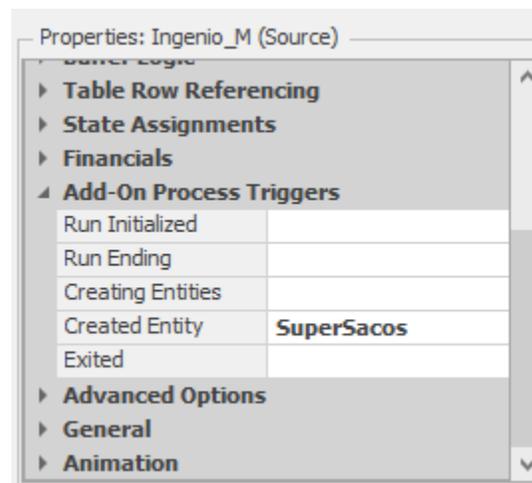


Figura 3.10 Llamado del proceso SuperSacos en el Source "Ingenio M"

Por último, en esta área tenemos los *path* que simulan la carretera hacia el CEDIS (véase Figura 3.11), y en la cual se mueven los *vehicles* que representan los tractocamiones que transportan los super sacos.

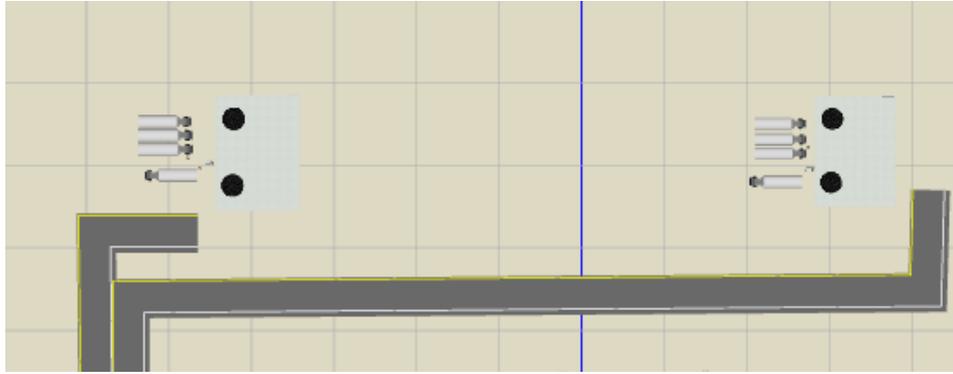


Figura 3.11 Paths representando carretera hacia CEDIS

Se decidió utilizar *paths* para representar las carreteras debido a que se necesitaba que el vehículo recorriera una distancia específica a una velocidad promedio. En la Figura 3.12, se presenta un ejemplo de las propiedades de un path llamado *Carretera2*, en este caso se programa que la longitud del path sea de 112 kilómetros.

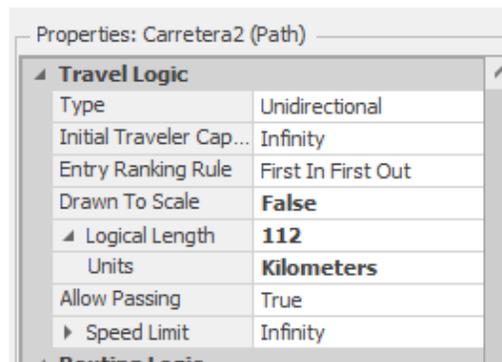


Figura 3.12 Propiedades del Path *Carretera2*

En la Figura 3.13 se presentan las propiedades del vehículo *Trailer_SP3*, donde se observan tres atributos importantes. El primero es el *Initial Ride Capacity* que corresponde a 20, dado que la capacidad de cada tractocamión es de 30 toneladas y por lo tanto soporta 20 super sacos, cada uno de tonelada y media, por viaje. El segundo atributo fue los tiempos de carga y descarga, en los que se ha colocado el tipo de carga por super saco, esto basándonos en los tiempos totales estipulados por la empresa que son una hora de carga y media hora para descarga. Como se puede observar en la Figura 3.13, el *load time*, que corresponde al tiempo de carga, es de 0.05 horas, dado que el programa solicita el tiempo de carga por unidad y

como se mencionó anteriormente, se cargan 20 super sacos en una hora, por lo que cada super sacos tardaría 0.05 horas en ser cargado al camión, el mismo caso con el *unload time*, que tarda en descargar 0.025 horas por super sacos para un total de media hora total por los 20 super sacos de la carga. Por último, se presenta la velocidad promedio de los tractocamiones que es de 70 kilómetros por hora. Estas propiedades son las mismas en todos los vehículos del área de ingenios (véase Figura 3.13)

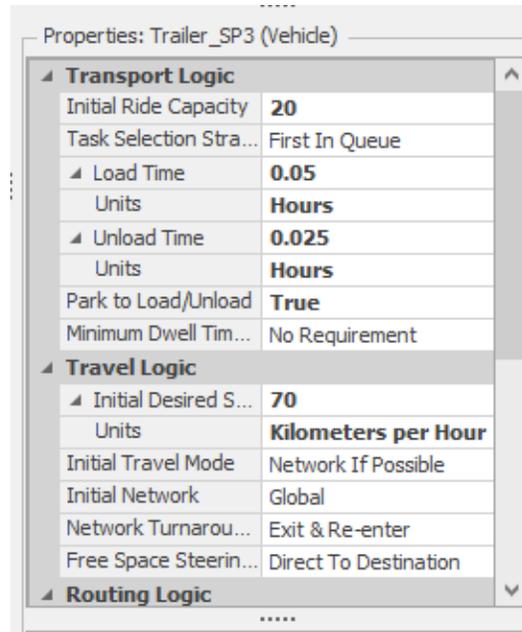


Figura 3.13 Propiedades del vehículo *Trailer_SP3*

La segunda área llamada Descarga/Grúas tiene la función de descargar los tractocamiones que vienen de los ingenios. La descarga se hace por medio de dos grúas aéreas que transportan los super sacos desde el camión hasta un vehículo utilitario de la empresa y que sirve para mover producto entre los almacenes (véase Figura 3.14).



Figura 3.14 *Vehicle* utilizado para transporte interno del producto

Las grúas aéreas fueron representadas por medio de *Cranes* (véase Figura 3.15), un elemento de la biblioteca extra de SIMIO, y que fue de gran utilidad para este proyecto, dado que simula gráficamente la descarga de los camiones, tal y como se espera en la realidad.

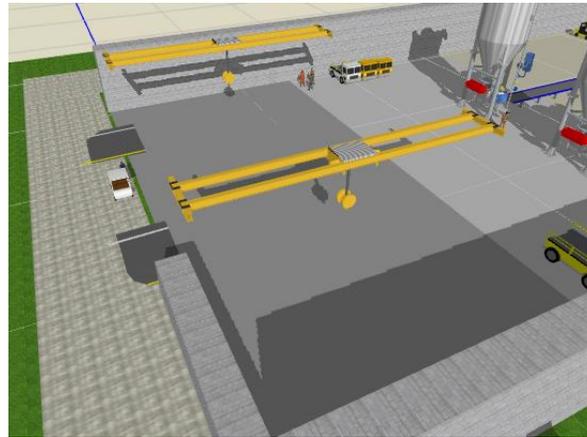


Figura 3.15 Elemento *Crane* representando grúas aéreas.

La tercera área corresponde al área de ensacado, y es donde se encuentran las ensacadoras y sus respectivas bandas transportadoras con las que mueven los nuevos sacos de 25 kilogramos a otras áreas. El proceso de esta área comenzará con la llegada de super sacos a las tolvas de las ensacadoras para verter el azúcar dentro de las mismas, el contenido de los super sacos será ensacado en bultos de 25 kilos y posteriormente llevados a almacenamiento o directamente a los camiones de carga.

Las ensacadoras fueron representadas por *Separators*, cuyas funciones pueden ser separar piezas compuestas por varios elementos, crear copias de un elemento o crear nuevos elementos sin copiar el original. En el modelo el objeto *separator* se usó para crear nuevos elementos que representaron a los sacos de 25 kilogramos. Podemos observar los *Separators* dentro del sistema en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Separator representando ensacadoras

Dado que el comportamiento de las ensacadoras es una de las principales incógnitas que se plantea la empresa con respecto al nuevo CEDIS, la simulación en Simio de dichas maquinarias sirve como un pronóstico realista de los tiempos de procesamiento con respecto a la demanda y será de ayuda para la empresa en la toma de decisiones. Por consiguiente, se consideró que ésta es una de las partes más importante de este proyecto, y su programación fue de las más laboriosas del sistema.

Las principales propiedades que se programaron en los *Separators* están ubicadas en dos categorías, éstas son *Separation Logic* y *Process Logic*. Dentro de la categoría de *Separation Logic*, tenemos tres propiedades importantes: *Separation Mode*, *New Entity Quantity* y *New Entity Type*. En la opción de *Separation Mode* se eligió *Create New (No Copying)*, la cual crea nuevas entidades llamadas *Sacos25kg* (véase Figura 3.17). Esta *model entity* fue establecida especialmente para representar a los sacos de 25 kilos que salen de las ensacadoras, por lo que tienen diferente tamaño y color de etiqueta. Para el atributo *New Entity Quantity*, se programaron 60 piezas por cada super saco que entra a la ensacadora, esto es porque de cada tonelada y media, se obtienen 60 sacos de 25 kilogramos. Finalmente, en la casilla de *New Entity Type*, se invocó a la nueva *model entity*, antes mencionada, *Sacos25kg*.

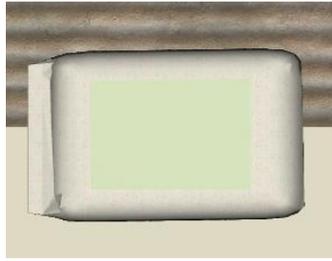


Figura 3.17 Model Entity *Sacos25kg*

En la categoría *Process Logic*, se pueden observar tres programaciones importantes. Primero el *Capacity Type*, que en este caso está basado en una *WorkSchedule* debido a que los escenarios que se plantearon para el análisis del modelo presentan diferentes números de turnos, y la herramienta *WorkSchedule* permite programar horarios de trabajo dentro del modelo. Nuestra segunda programación va directamente relacionada con la primera, dado que es la invocación del *WorkSchedule* con la que se va a trabajar en el modelo, en este caso, se llamó al *Work Schedule* nombrado como *StandardWeek* (véase Figura 3.18). La programación del *Work Schedule* es sencilla, y se divide en dos secciones, una es los días de semana que se va a trabajar, en el caso de la Figura 3.18, podemos ver que se trabajaría toda la semana; y la otra sección son los *Work Periods* que serán los turnos que se trabajarán por máquina, en el caso del ejemplo de la Figura 3.18, solo se trabajan dos turnos. Finalmente, otra propiedad importante dentro del *Separator* es el *Processing Time*, que se irá modificando para simular los escenarios de producción, los cuales se especificarán más adelante. Todas estas propiedades se pueden observar en la Figura 3.19, donde se muestra un ejemplo del cuadro de *Properties* del *Separator1*.

Work Schedules											
Name	Start Date	Description	Days	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday	
StandardWeek	03/01/2011	Standard Work Week Schedule	7	StandardDay	StandardDay	StandardDay	StandardDay	StandardDay	StandardDay	StandardDay	
.....											
Day Patterns											
Name	Description										
StandardDay	Standard 8-5 Work Day										
Work Periods											
Start Time	Duration	End Time	Value	Cost Multiplier	Description						
08:00 a. m.	8 hours	04:00 p. m.	1	1							
04:00 p. m.	8 hours	12:00 a. m.	1	1							

Figura 3.18 Work Schedule con dos turnos de trabajo

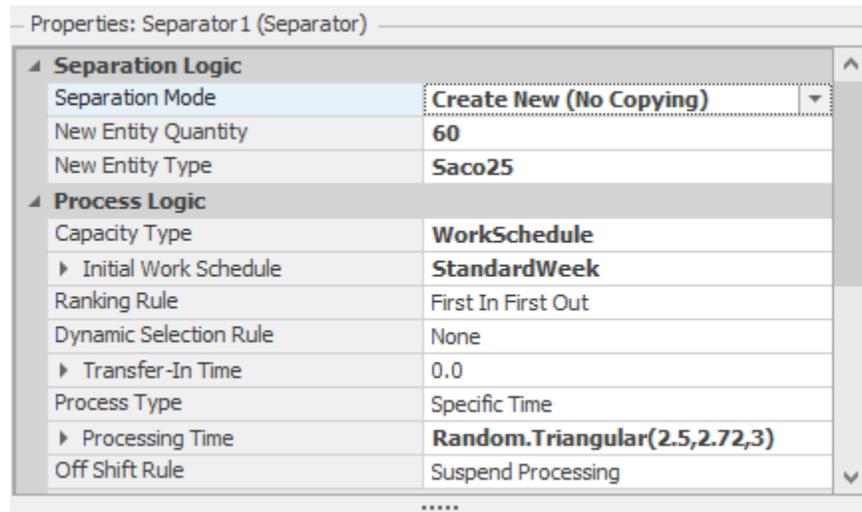


Figura 3.19 Propiedades de Separator

Dentro de esta tercera área podemos encontrar de igual forma un conjunto de bandas transportadoras, que tienen la finalidad de transportar los sacos de 25 kilos, recién empacados, a diferentes áreas del CEDIS. Dichas bandas tienen la opción de llevar los sacos de 25 kilos al almacén de sacos de 25 kg o directamente a los camiones de carga.

Para representar a estas bandas transportadoras se utilizó el objeto *Conveyor*, cuya función principal es ser una vía de transporte de elementos en el sistema, los cuales se pueden ver representados en la Figura 3.20.

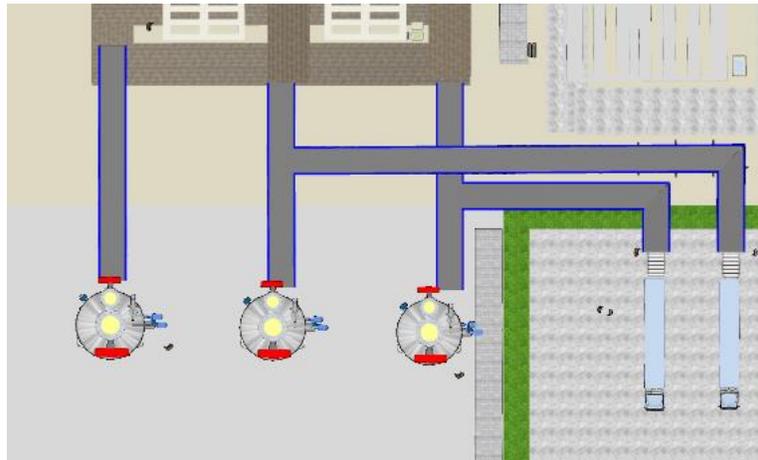


Figura 3.20 Conveyor representando bandas transportadoras

Finalmente, tenemos la cuarta área, el área de almacenamiento, que como su nombre lo indica abarca aquellos espacios destinados a almacenar los productos del sistema. Dentro del modelo encontramos dos naves de aprovisionamiento, la de super sacos de 1.5 toneladas y la de sacos de 25 kilos. En la nave de super sacos, llegarán los sacos con el mismo nombre y serán guardados para posteriormente pasar al área de ensacado. Por otro lado, en la nave de sacos de 25 kilos, los elementos arribarán después de pasar por el proceso de ensacado y saldrán de acuerdo con la demanda.

Para representar los almacenes dentro del modelo se utilizó el objeto *Server*, que con algunas modificaciones en sus propiedades logró fungir como un pallet de acopiamiento, dado que su función principal no es la de almacenar si no procesar.

Para lograr que los *servers* pudieran tener la propiedad de acaparamiento, se variaron dos atributos dentro del objeto, el *Initial Capacity* y el *Processing Time*. Para la *Initial Capacity* se calculó la cantidad de elementos por pallet, dividiendo la capacidad del almacén entre el número de *servers* que tenemos en dicho almacén, en el caso del almacén de super sacos se tienen 8 *servers* (véase Figura 3.21) y en el de 25 kilogramos se tienen 20 *servers* (Figura 3.22). Por lo tanto, si la capacidad calculada de cada nave es de 100,000 toneladas, que es la máxima cantidad de producto que se prevé tener acumulado, la *Initial Capacity* de cada server sería de 8,333.3 para super sacos y 125,000 para sacos de 25 kg. Para el *Processing Time* se realizó un proceso más subjetivo, dado que no tenemos manera de calcular el tiempo

exacto de salida de cada producto, se programó que para el almacén de super sacos se guardará el producto dependiendo de cada escenario y para el almacén de sacos de 25 kilogramos se almacenará de 4 a 6 meses.



Figura 3.21 Almacén de super sacos



Figura 3.22 Almacén de sacos de 25 kg

Otro objeto que podemos encontrar dentro de los almacenes del sistema son *vehicles* que representan montacargas, los cuales serán utilizados para transportar productos entre los almacenes y a otras áreas, como al área de ensacado, a las bandas transportadoras o a los camiones de carga. En la Figura 3.23 se puede observar de mejor manera los elementos antes mencionados.



Figura 3.23 *Vehicles* representando montacargas

Para terminar, podemos encontrar el área de carga de camiones que será el final del proceso. Los camiones serán llenados con sacos de 25 kilogramos que lleguen directo de las ensacadoras o del almacén, para ser llevados a los clientes según la demanda.

Para representar los camiones de carga se utilizaron *Sinks*, cuya función principal es destruir los objetos creados en el sistema, dado que es un elemento de salida. En la Figura 3.24, podemos observar dichos elementos en el sistema.

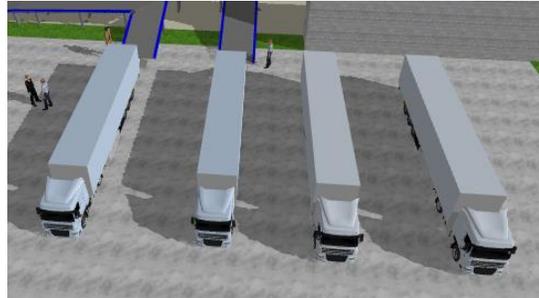


Figura 3.24 *Sinks* representando camiones de carga

A continuación, en la Tabla 3.2 se muestra un resumen de todos los objetos utilizados en el modelo completo.

Tabla 3.2 Tabla Resumen de objetos del modelo

Objeto	Descripción	Total de objetos
Source	Crea los elementos de producción, en este caso, sacos de azúcar.	2
Server	Representa los pallets dentro de los almacenes.	28
Vehicule	Transporta los elementos de una estación o almacén a otro sitio.	14
Crane	Descarga los camiones con super sacos.	2
Separator	Representa las ensacadoras y transforma un super saco en 60 sacos de 25 kg.	3
Sink	Representa a los camiones de carga que se llevan el producto del nuevo CEDIS. Destruye los elementos al salir del proceso.	2

El conjunto de todos los elementos anteriormente mencionados da como resultado el modelo de simulación del nuevo Centro de Distribución, y lo podemos observar de manera completa en las Figura 3.25 de manera aérea en 2D, en la Figura 3.26 y la Figura 3.27 observamos una vista frontal del modelo a distintas distancias, en la Figura 3.28 se muestra una vista lateral y en la Figura 3.29 tenemos una vista trasera del modelo de simulación.



Figura 3.25 Vista aérea en 2D de modelo de Simulación en SIMIO.



Figura 3.26 Vista frontal 1 del modelo de Simulación en SIMIO



Figura 3.27 Vista frontal 2 del modelo de Simulación en SIMIO



Figura 3.28 Vista lateral del modelo de Simulación en SIMIO



Figura 3.29 Vista trasera del modelo de Simulación en SIMIO

3.5 Realizar corridas piloto

Se realizaron 10 corridas piloto en las cuales la medida de desempeño principal fue la cantidad de super sacos que llegan al CEDIS al año y los resultados fueron similares a los obtenidos en datos históricos de la empresa. Esta información se utilizará para realizar la validación del modelo, los datos obtenidos en las corridas piloto se muestran en la Tabla 3.4 en la columna “Yi”.

Dado que la información proporcionada por la empresa utilizaba como unidad de medida la tonelada de azúcar al llegar al nuevo CEDIS planeado, se tomó la decisión de realizar la validación en la próxima sección con toneladas de azúcar como unidad de medida, por lo que se convirtieron los datos de las corridas pilotos de super sacos a toneladas de azúcar multiplicando la cantidad de super sacos que llegan a la simulación del CEDIS por 1.5, esto se debe a que un super saco corresponde a 1.5 toneladas de azúcar. Dicha conversión se puede observar en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Conversión de super sacos a toneladas de azúcar

Número de Corrida	Super sacos que llegan al CEDIS en la simulación	Conversión a Toneladas de azúcar que llegan al CEDIS en la simulación
1	154273	231410
2	172036	258055
3	156220	234330
4	174694	262042
5	173915	260873
6	179276	268914
7	163040	244560
8	183254	274881
9	163154	244731
10	156062	234094

3.6 Validación del modelo

Se validó el modelo mediante la prueba t pareada, tomando en cuenta los datos históricos que se tenían registrados de la producción de los ingenios M y SP, y los datos que se obtengan de la simulación, para comprobar la validez del modelo.

A continuación, se muestran los cálculos para la prueba t pareada para la medida de desempeño principal que corresponde al número de super sacos (convertidos a toneladas de azúcar) que llegan al CEDIS anualmente (véase Tabla 3.4). Posteriormente se muestra el cálculo del intervalo de confianza para determinar si el modelo es válido.

Como se explicó en el punto anterior, la unidad de medida que se utiliza en la validación son las toneladas de azúcar, convirtiendo los super sacos a toneladas de azúcar por medio de la

conversión que resulta de multiplicar la cantidad de super sacos que llegan al año a la simulación por 1.5.

X_i = Cantidad de toneladas de azúcar reales al año que alimentan al nuevo CEDIS planeado

Y_i = Cantidad de toneladas de azúcar simuladas al año que alimentan al CEDIS simulado

Tabla 3.4 Prueba t pareada

Corridas	Datos		$Z_j = X_i - Y_i$	$(Z_j - Z_{10})^2$
	Reales	Simulados		
1	229,887	231410	-1,523	26,692,333.5863
2	242,247	258055	-15,808	83,144,810.3110
3	245,140	234330	10,810	306,238,183.6250
4	249,398	262042	-12,644	35,453,183.7335
5	193,291	260873	-67,582	3,707,954,722.6955
6	213,188	268914	-55,726	2,404,538,869.2069
7	239,720	244560	-4,840	3,420,511.1173
8	257,481	274881	-17,400	114,707,297.4000
9	274,347	244731	29,616	1,318,081,499.5618
10	302,295	234094	68,201	5,608,643,969.0342
		Suma	-66,895	13,608,875,380.2713
		Promedio	-6,689.5	
		Varianza	151209726.4	

Después de realizar los cálculos correspondientes a la prueba de t pareada, y que se obtuvo la varianza, se calculó el intervalo de confianza para la validación del modelo, para esto se utilizó un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$) y se determinó el intervalo de confianza con la siguiente fórmula:

$$\bar{Z}_{10} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\widehat{Var}(Z_n)}$$

$$-6,689.5 \pm t_{9, 0.025} \sqrt{151209726.4}$$

$$-6,689.5 \pm 27,815.22 = (-34,504.7, +21,125.8)$$

Dado que el intervalo de confianza (-34,504.7, +21,125.8) incluye al 0, se asume que el modelo es válido.

3.7 Diseño de Experimentos

Para determinar el número óptimo de corridas se utilizó el procedimiento que se describe a continuación.

Para el cálculo del número óptimo de corridas se usó la fórmula de $n^*(\beta)$, que se muestra en la Ecuación 3.1.

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq 10: t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{s^2(n)}{i}} \leq \beta \right\} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

i = Número de corrida

β = Error absoluto

α = Nivel de significancia

$1-\alpha$ = Nivel de confianza

$s^2(n)$ = varianza de las corridas de la variable

t = valor de tablas de la distribución t-student

$n^*(\beta)$ = Número de óptimo de corridas con base en el error absoluto β

Para aplicar la fórmula se utilizó un nivel de confianza del 95% con un error absoluto $\beta = 7,200$ toneladas de azúcar, el cual representa menos del 5% de la producción anual de super sacos.

$$\min \left\{ i \geq 10: t_{i-1, 0.975} \sqrt{\frac{243013229.1}{i}} \leq 7,200 \right\}$$

$i=10$

$$: 2.262 \sqrt{\frac{243013229.1}{10}} = 11150.83 \geq 7,200$$

i=11

$$: 2.228 \sqrt{\frac{243013229.1}{11}} = 10716.51 \geq 7,200$$

i=12

$$: 2.201 \sqrt{\frac{243013229.1}{12}} = 9904.76 \geq 7,200$$

.

.

.

i=21

$$: 2.086 \sqrt{\frac{243013229.1}{21}} = 7096.09 \leq 7,200$$

Basado en lo anterior se puede observar que el número óptimo de corridas es de 21 replicaciones.

3.8 Correr el modelo de simulación

El modelo se corrió 21 veces con base en la decisión tomada en el diseño de experimentos. Después de ejecutar las corridas se obtuvieron los resultados de las medidas de desempeño que se están analizando, los cuales se muestran en el punto 3.9.

3.9 Análisis de resultados del modelo actual

Como resultado de las 21 corridas, se obtuvo la Tabla 3.5, que fue generada con el cambio de los números pseudoaleatorios de la simulación en cada corrida y propicia el análisis de la simulación en diversos escenarios de demanda.

Es importante mencionar que los resultados de la simulación son reportados en super sacos y sacos de 25 kg, no en toneladas de azúcar, debido a que el producto final del CEDIS son ambos tipos de sacos.

Tabla 3.5 Datos de corridas del modelo

Corrida del Sistema	Número de Super Sacos entrantes	Número de Super Sacos en Almacén	Número de sacos de 25 kg en Almacén	Salida de Sacos de 25 kg de CEDIS
1	154,760	77,137	3,351,673	9,139,843
2	159,870	81,030	3,282,080	9,403,130
3	155,003	81,517	3,192,047	9,100,423
4	167,170	87,113	3,608,633	9,852,323
5	161,817	80,787	3,493,780	9,488,783
6	167,657	75,920	3,740,520	9,859,380
7	162,060	82,003	3,373,573	9,498,760
8	161,087	82,977	3,290,840	9,461,043
9	165,223	80,543	3,578,460	9,708,513
10	159,870	83,463	3,312,740	9,430,140
11	174,713	87,113	3,578,947	10,272,560
12	158,653	77,137	3,413,480	9,289,737
13	162,060	83,463	3,420,780	9,510,927
14	160,600	82,490	3,424,673	9,236,203
15	165,223	82,977	3,477,233	9,781,757
16	164,250	82,977	3,599,387	9,657,900
17	159,383	82,003	3,254,827	9,370,523
18	156,463	80,300	3,260,667	8,909,893
19	169,603	86,383	3,481,613	9,827,990
20	163,277	84,680	3,523,953	9,467,857
21	163,520	85,653	3,467,987	9,614,587
Promedio	162,489	82,270	3,434,662	9,518,203

La primera columna de la Tabla 3.5 indica el número de corridas que van desde la 1 a la 21 y el reglón para el promedio. La segunda columna, Número de Super Sacos entrantes, corresponde a la cantidad de super sacos que entran al sistema por medio de los *sources*, que representan los ingenios, y que en promedio son 162,489 super sacos al año. En la tercera columna tenemos el número de super sacos que entran al almacén de super sacos a lo largo de la simulación, que en promedio fueron 82,270 super sacos, lo que significa que aproximadamente la mitad de super sacos que llegaban al sistema se llevaban a almacén para

ser ensacados después, mientras que la otra mitad iba directamente al área de ensacado. En la cuarta columna se encuentran los datos del número de sacos de 25 kg que fueron llevados a almacén después del proceso de ensacado, que es en promedio 3,434,662 sacos en un año. Finalmente, la quinta columna nos muestra el número de sacos de 25 kg que salen del sistema y son destruidos por el Sink, lo cual representa la cantidad de sacos de 25 kg que serán llevados fuera del CEDIS a los puntos de venta, siendo en promedio 9,518,203 sacos al año.

En la Figura 3.30 podemos observar la tabla de indicadores del sistema que se encuentra en el modelo de la simulación, la cual se puede ir monitoreando mientras corre el modelo, así como observar cual es el resultado final de los indicadores al terminar la corrida.

INDICADORES DEL SISTEMA ANUALES	
Número de Super Sacos Entrantes	0
Número de Super Sacos en Almacén	0
Número de Sacos 25 kg en Almacén	0
Salida de Sacos 25 kg del Sistema	0

Figura 3.30 Tabla de Indicadores del sistema al inicio de la corrida de simulación

Una vez que se analizó y verificó el modelo del estado actual, se crearon nuevas alternativas de utilización de recursos para encontrar como optimizar tiempos en el nuevo centro de distribución. Este proceso de selección y evaluación de alternativas se encuentra descrito en el siguiente capítulo.

Capítulo 4. Evaluación de Alternativas

En este capítulo se analizarán y evaluarán varias alternativas cuya finalidad será obtener tiempos de productividad óptimos.

Para el desarrollo de las alternativas se modificaron tres variables que afectan al tiempo de producción, las cuales afectan el tiempo que tardan las ensacadoras en procesar la demanda de super sacos anual. Estas tres variables fueron las siguientes:

1. Número de máquinas ensacadoras: Esta variable especifica la cantidad de máquinas ensacadoras que existirán en el sistema, la cual será analizada desde 1 hasta 4 ensacadoras.
2. Número de turnos: Esta variable especifica el número de turnos de trabajo por día que el sistema estará operando. El número de turnos que se analizarán será de 2 y 3 turnos por día, cada uno de 8 horas.
3. Capacidad por máquina ensacadora: Esta variable dicta la velocidad de procesamiento que tendrá cada ensacadora. Dichas capacidades pueden ser mínima, que significa que cada ensacadora procesaría 20 sacos de 25 kilos por minuto; promedio, que representa 22 sacos de 25 kilos por minuto; máxima, que tiene la capacidad de ensacar 24 sacos de 25 kilos por minuto; finalmente triangular, donde la capacidad de la máquina trabajó de acuerdo a una probabilidad triangular que engloba las tres capacidades anteriormente utilizadas, donde el mínimo son 20 sacos, la moda de 22 sacos y el máximo de 24 sacos por minuto .

Para la generación de alternativas se tomaron en cuenta todas las combinaciones posibles de las tres variables dando como resultado 32 escenarios (Véase Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Descripción de Alternativas

Alternativas	Ensacadoras	Turnos	Capacidad	Alternativas	Ensacadoras	Turnos	Capacidad
Alternativa 1	1	2	Mínima	Alternativa 17	1	3	Mínima
Alternativa 2	2	2	Mínima	Alternativa 18	2	3	Mínima
Alternativa 3	3	2	Mínima	Alternativa 19	3	3	Mínima
Alternativa 4	4	2	Mínima	Alternativa 20	4	3	Mínima
Alternativa 5	1	2	Promedio	Alternativa 21	1	3	Promedio
Alternativa 6	2	2	Promedio	Alternativa 22	2	3	Promedio
Alternativa 7	3	2	Promedio	Alternativa 23	3	3	Promedio
Alternativa 8	4	2	Promedio	Alternativa 24	4	3	Promedio
Alternativa 9	1	2	Máxima	Alternativa 25	1	3	Máxima
Alternativa 10	2	2	Máxima	Alternativa 26	2	3	Máxima
Alternativa 11	3	2	Máxima	Alternativa 27	3	3	Máxima
Alternativa 12	4	2	Máxima	Alternativa 28	4	3	Máxima
Alternativa 13	1	2	Triangular	Alternativa 29	1	3	Triangular
Alternativa 14	2	2	Triangular	Alternativa 30	2	3	Triangular
Alternativa 15	3	2	Triangular	Alternativa 31	3	3	Triangular
Alternativa 16	4	2	Triangular	Alternativa 32	4	3	Triangular

De la combinación de las tres variables se analizó el resultado de dos indicadores, los cuales son tiempo de procesamiento total de producción y porcentaje de utilización de las ensacadoras. Para el tiempo de procesamiento total, se buscó un tiempo óptimo de 189 días o lo más cercano a éste, esto quiere decir que se espera que las máquinas logren ensacar toda la producción de super sacos a sacos de 25 kilos en el menor tiempo posible, siendo el escenario ideal que la producción termine exactamente el día que termina la zafra, sabiendo que el tiempo que dura la zafra es de 189 días en promedio basándose en datos históricos y requerimientos del programa. Por otro lado, el porcentaje de utilización representa el tiempo que están en uso las máquinas ensacadoras durante la jornada laboral, y se requiere que sea lo más alto posible, siendo 100 el porcentaje óptimo esperado. El número de super sacos que se procesaron por año son de 162,489 en promedio, de acuerdo con el análisis realizado en el punto 3.9.

En las siguientes tablas encontraremos el resumen de los escenarios, en el caso de las primeras 4 tablas (Tabla 4.2, Tabla 4.3, Tabla 4.4 y Tabla 4.5) corresponden a las alternativas que contemplan dos turnos al día, y cada escenario fue corrido 21 veces cada uno. En cada

tabla se indicará la capacidad (Mínima, Promedio, Máxima o Triangular), el número de máquinas (entre 1 y 4), el tiempo de procesamiento total en días, horas totales y horas efectivas, así como el porcentaje de utilización. Para el tiempo de procesamiento total se presentan tres datos importantes, los días y horas totales corresponderán al tiempo total que tardó la máquina en terminar de ensacar toda la producción anual, por otra parte, las horas efectivas representarán las horas que estuvo activa y en uso cada ensacadora, basándonos en el número de turnos (16 o 24 horas al día) y el porcentaje de utilización de cada ensacadora.

La Tabla 4.2 muestra los datos obtenidos de las primeras cuatro alternativas donde se trabajó a la capacidad mínima durante dos turnos al día, con 1 a 4 ensacadoras.

Tabla 4.2 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad mínima y 2 turnos.

No. De Alternativa	Ensacadoras (Cap. Mínima)	Tiempo de procesamiento total			Porcentaje Utilización
		Días	Horas Totales	Horas Efectivas	
Alternativa 1	1 ensacadora	453.29	10,879.08	8,159.23	100.00%
Alternativa 2	2 ensacadoras	257.87	6,188.95	4,574.41	98.55%
Alternativa 3	3 ensacadoras	189.37	4,544.85	3,069.25	90.04%
Alternativa 4	4 ensacadoras	189.36	4,544.65	2,299.11	67.45%

De acuerdo con las necesidades de la empresa, si se utilizara la ensacadora a su capacidad mínima, se necesitaría 453.29 días, para cubrir la demanda anual por lo que se causaría un cuello de botella dentro del proceso. Se llegan a acumular cantidades significativas de super sacos, superando los 20,000, por lo que no se considera factible.

En caso de que se utilizaran dos máquinas en su capacidad mínima, se cubriría la demanda en un total de 257 días aproximadamente, cumpliendo 2 turnos. Es decir, el tiempo de procesamiento para esta combinación sería alrededor de 8 meses y medio, por lo que se considera una alternativa aceptable pero no óptima.

La opción de tres, que contempla tres ensacadoras a la velocidad mínima, tardaría en promedio 189 días en procesar la cantidad total de Super Sacos producidos en la temporada. El tiempo corresponde al tiempo de Zafra, por lo que se considera conveniente.

Por último, se presenta el análisis de cuatro ensacadoras con la capacidad mínima, esta alternativa se tardaría en total 4,544.65 horas, que se traduce en 189.36 días. Dicho tiempo corresponde al tiempo de zafra establecido, por lo que no se encuentra del todo descartada la

alternativa. Por otro lado, las ensacadoras presentan un porcentaje de utilización del 67.45%, lo que representa que de las 4,544.65 horas totales, cada máquina solo trabajó 2,299.11.

La Tabla 4.3 contiene los datos del modelo con una velocidad de ensacado promedio, la cual es 22 sacos de 25 kg por minuto, con 2 turnos al día y de 1 a 4 ensacadoras.

Tabla 4.3 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad promedio y 2 turnos.

No. De Alternativa	Ensamadoras (Cap. Promedio)	Tiempo de procesamiento total			Porcentaje Utilización
		Días	Horas Totales	Horas Efectivas	
Alternativa 5	1 ensacadora	412.09	9,890.07	7,416.81	99.99%
Alternativa 6	2 ensacadoras	235.37	5,648.86	4,151.91	98.00%
Alternativa 7	3 ensacadoras	189.37	4,544.77	2,779.35	81.54%
Alternativa 8	4 ensacadoras	189.36	4,544.59	2,084.52	61.16%

Si analizamos la tabla, el uso de una sola ensacadora en su capacidad promedio no resulta recomendable, dado que tardaríamos 412 días, más de un año, en ensacar la cantidad total de super sacos en presentación de 25 kilos.

El uso de dos ensacadoras reduce los tiempos a casi la mitad, pero sigue siendo insuficiente la reducción, ya que sigue superando mucho el tiempo de zafra. El tiempo que tardarían dos ensacadoras a capacidad promedio serían 235.37 días, menos de un año, con una utilización de 98% para cada ensacadora.

Si se colocaran tres ensacadoras que trabajaran a su capacidad promedio, el tiempo de procesamiento sería en promedio de 189.37 días, y la utilización promedio de las ensacadoras estaría en el 81.54%, lo cual es una alternativa viable.

Por último, la Tabla 4.3 nos muestra el tiempo de procesamiento de cuatro máquinas a su capacidad promedio, y podemos notar que ya se encuentra dentro del tiempo de zafra, mostrando un resultado de 189.36, lo cual representa 4,544.59 horas totales, de las cuales 2,084.52 fueron efectivas, con un nivel de utilización de 61.16% en promedio por máquina. Esta parece una alternativa no factible, dado que presenta un tiempo de procesamiento aceptable, pero un porcentaje de utilización bajo.

Para la Tabla 4.4, se analizó el tiempo de procesamiento de 1 a 4 ensacadoras a su capacidad máxima, que es 24 sacos por minuto, cada uno de 25 kilos, en dos turnos de 8 horas por día.

Tabla 4.4 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad máxima y 2 turnos.

No. De Alternativa	Ensayadoras (Cap. Máxima)	Tiempo de procesamiento total			Porcentaje Utilización
		Días	Horas Totales	Horas Efectivas	
Alternativa 9	1 ensacadora	377.75	9,065.90	6,798.06	99.98%
Alternativa 10	2 ensacadoras	218.54	5,244.90	3,829.43	97.35%
Alternativa 11	3 ensacadoras	189.37	4,544.86	2,554.67	74.95%
Alternativa 12	4 ensacadoras	189.36	4,544.54	1,915.86	56.21%

La opción de una máquina trabajando a su capacidad máxima, da como resultado un tiempo de 377.75 días para procesar la demanda de un año. Dado que el tiempo de procesamiento sobrepasa el año, no se considera factible esta opción.

Por otra parte, el uso de dos máquinas a su capacidad máxima tiene un tiempo de procesamiento de 218.54 días, con un porcentaje de utilización de 97.35%. Este tiempo sigue siendo elevado a comparación del tiempo de zafra, por lo que no es una alternativa adecuada.

En el caso de tres máquinas trabajando a su capacidad máxima, el tiempo que tarda en procesar la demanda es de 189.37 días, que es un tiempo óptimo. También podemos observar que el porcentaje de utilización es del 74.95%, considerado nivel bajo.

El último escenario es el uso de cuatro ensacadoras a su máxima capacidad, que dio como resultado un tiempo de procesamiento de 189.36 días, el cual se considera óptimo. El porcentaje de utilización para este escenario es de 56.21%, que se considera bastante bajo, por lo que este escenario se descarta como elegible.

En la Tabla 4.5 podemos observar los datos obtenidos del modelo de simulación donde las ensacadoras trabajan con respecto a una distribución triangular, la cual corresponde a T (20, 22, 24) por minuto, cada uno de 25 kilos. Se considera que éste sería el escenario más realista, considerando que se trabaje a capacidad promedio, pero haya variaciones entre la mínima y la máxima capacidad, siguiendo la distribución triangular.

Tabla 4.5 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad triangular y 2 turnos.

No. De Alternativa	Ensamadoras (Capacidad Triangular)	Tiempo de procesamiento total			Porcentaje Utilización
		Días	Horas Totales	Horas Efectivas	
Alternativa 13	1 ensamadora	408.07	9,793.62	7,344.48	99.99%
Alternativa 14	2 ensamadoras	236.64	5,679.30	4,154.69	97.54%
Alternativa 15	3 ensamadoras	189.37	4,544.97	2,793.34	81.95%
Alternativa 16	4 ensamadoras	189.36	4,544.60	2,112.47	61.98%

La primera alternativa, como en todos los análisis antes observados, no es factible en absoluto, dado que el tiempo de procesamiento del producto de un año, es mayor al año, causando un incremento en el cuello de botella. En este caso, el tiempo estimado sería de 408.07 días, aproximadamente un año y un mes.

Para la alternativa de dos máquinas con capacidad triangular, se obtuvo un tiempo de proceso de 236.64 días, que, aunque sea menos del año, sigue alejado más de un mes del tiempo óptimo.

La siguiente opción que se propone en la Tabla 4.5 es la de tres máquinas, con las cuales se podría obtener un tiempo de procesamiento de 189.37 días, con un 81.95% de utilización promedio por máquina, la cual es viable.

Finalmente, se tiene la propuesta de cuatro ensamadoras trabajando a una capacidad definida por una distribución triangular, que nos da un resultado de 189.36 días, y con una utilización promedio de 61.98% por máquina. Este tiempo resulta ser el óptimo, pero el porcentaje de utilización no es considerado aceptable, ya que es muy bajo.

A continuación, se presentan los escenarios que contemplan tres turnos, dichos escenarios fueron corridos 21 veces cada uno. Como en las tablas anteriores, se indicará la capacidad (Mínima, Promedio, Máxima o Triangular), el número de máquinas (Entre 1 y 4), el tiempo de procesamiento en días, horas totales y efectivas, y el porcentaje de procesamiento. Para el tiempo de procesamiento se presentan tres datos importantes, los días y horas totales corresponderán al tiempo total que tardó la máquina en terminar de ensacar toda la producción anual, por otra parte, las horas efectivas representarán las horas que estuvo activa

y en uso cada ensacadora, basándonos en el número de turnos (24 horas al día) y el porcentaje de utilización.

La Tabla 4.6 contiene los datos del tiempo de procesamiento de 1 a 4 ensacadoras a su capacidad mínima, que es 24 sacos por minuto, cada uno de 25 kilos, en dos turnos de 8 horas por día.

Tabla 4.6 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad mínima y 3 turnos.

No. De Alternativa	Ensayados (Cap. Mínima)	Tiempo de procesamiento total			Porcentaje Utilización
		Días	Horas Totales	Horas Efectivas	
Alternativa 17	1 ensacadora	340.06	8,161.35	8,160.53	99.99%
Alternativa 18	2 ensacadoras	189.09	4,538.07	4,080.41	89.92%
Alternativa 19	3 ensacadoras	189.03	4,536.70	2,669.85	58.85%
Alternativa 20	4 ensacadoras	189.05	4,537.21	2,039.82	44.96%

Respecto a la Tabla 4.6, si se quisieran satisfacer la demanda de la empresa y si se utilizara una máquina a su capacidad mínima, se necesitaría 340.06 días. A pesar de que el tiempo no supera un año, está alejado del tiempo de zafra y no se considera una opción adecuada.

Si se aumentara a dos máquinas en su capacidad mínima, se cubriría la demanda en un total de 189.09 días aproximadamente el tiempo coincide con el de la zafra y tiene un porcentaje de utilización del 89.92%, por lo que se considera una opción viable.

La tercera opción, considerando tres máquinas a velocidad mínima, tardaría un promedio de 189.03 días en procesar el total de super sacos producidos durante la temporada. El tiempo de procesamiento en esta alternativa ya es el óptimo, por otro lado, el porcentaje de utilización es del 58.85% que no se considera aceptable por ser tan bajo.

Por último, se presenta el análisis de cuatro ensacadoras con la capacidad mínima, esta alternativa se tardaría en total 4,537.21 horas, que se traduce en 189.05 días. Sigue teniendo un tiempo óptimo, pero presenta una utilización del 44.96%, que se considera muy baja.

En la Tabla 4.7, podemos observar los datos obtenido por el modelo simulando las ensacadoras trabajando a una capacidad promedio, que representa 22 sacos de 25 kg por minuto.

Tabla 4.7 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad promedio y 3 turnos.

No. De Alternativa	Ensamadoras (Cap. Promedio)	Tiempo de procesamiento total			Porcentaje Utilización
		Días	Horas Totales	Horas Efectivas	
Alternativa 21	1 ensacadora	309.14	7,419.41	7,417.18	99.97%
Alternativa 22	2 ensacadoras	189.08	4,538.02	3,699.39	81.52%
Alternativa 23	3 ensacadoras	189.08	4,537.89	2,420.81	53.35%
Alternativa 24	4 ensacadoras	189.08	4,537.90	1,849.76	40.76%

Para la primera opción que se muestra, tenemos el escenario de una sola ensacadora trabajando y el cual da como resultado 309.14 días para cumplir con la demanda. Evidentemente, el tiempo de procesamiento es superior al tiempo de zafra, aunque no rebasa el año, por lo que no se considera factible.

Otro escenario que se puede observar es con dos ensacadoras a capacidad promedio, con esta capacidad se lograría cubrir la demanda en 189.08 días, que se considera óptimo, y un porcentaje de utilización de 81.52% que es aceptable.

En la siguiente alternativa tenemos tres ensacadoras a capacidad promedio, cuyo tiempo de procesamiento ronda los 189.08 días, que se encuentra en el rango óptimo, dado que duraría el tiempo estimado de zafra. Otro parámetro que debemos observar es el porcentaje de utilización, que se encuentra en 53.35% en promedio por máquina, el cual puede considerarse bajo.

Finalmente, la Tabla 4.7 nos muestra los resultados de tiempo de cuatro máquinas, que sería de 189.08 días. Aunque al igual que el anterior, está dentro del tiempo óptimo, el nivel de utilización de esta alternativa es muy bajo, rondando los 40.76% por máquina, por lo que no es aceptable.

La Tabla 4.8 presenta los datos que resultan de la simulación de 1 a 4 ensacadoras utilizadas a su capacidad máxima, que representa 24 sacos de 25 kg por minuto, durante 3 turnos de 8 horas al día.

Tabla 4.8 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad máxima y 3 turnos.

No. De Alternativa	Ensamadoras (Cap. Máxima)	Tiempo de procesamiento total			Porcentaje Utilización
		Días	Horas Totales	Horas Efectivas	
Alternativa 13	1 ensamadora	283.38	6,801.13	6,758.96	99.38%
Alternativa 14	2 ensamadoras	189.08	4,537.98	3,400.31	74.93%
Alternativa 15	3 ensamadoras	189.01	4,537.90	2,266.83	49.95%
Alternativa 16	4 ensamadoras	189.08	4,537.89	1,700.23	37.47%

Para las dos primeras filas tenemos el análisis del tiempo de procesamiento con una y dos ensamadoras trabajando a su capacidad máxima, que dan como resultado 283.38 días, que sobrepasan el tiempo de zafra, por lo que no se considera factible para tomar en cuenta en el proyecto.

La segunda alternativa presentada es el uso de dos ensamadoras a su máxima capacidad, esta alternativa daría como resultado un tiempo de procesamiento de 189.08 días, el tiempo exacto de la zafra calculada. Por otro lado, el porcentaje de utilización es de 74.93% en promedio, el cual es bajo y podría representar un desperdicio de tiempo, dado que de las 4,537.98 horas totales, las ensamadoras solo trabajarían 3,400.31 horas.

Por último, en la Tabla 4.8 podemos encontrar los tiempos estimados para tres y cuatro ensamadoras a su máxima capacidad, que da un tiempo de 189.08 días, al igual que la anterior alternativa. En este caso, el porcentaje de utilización es aún más bajo, siendo de 49.95% y 37.47% respectivamente. Esto representaría que, de 4,538 horas totales aproximadas, las ensamadoras solo trabajarían 2,266.83 y 1,700.23 horas, menos de la mitad de los turnos, por lo que no son viables.

Para terminar el análisis de las tablas de tiempos, tenemos la Tabla 4.9, que representa los tiempos totales que tardarían de 1 a 4 ensamadoras a una capacidad triangular que va de 20 a 24 sacos de 25 kg por minuto, en procesar la demanda anual.

Tabla 4.9 Resultados de 1 a 4 ensacadoras a capacidad triangular y 3 turnos.

No. De Alternativa	Ensacadoras (Capacidad Triangular)	Tiempo de procesamiento total			Porcentaje Utilización
		Días	Horas Totales	Horas Efectivas	
Alternativa 13	1 ensacadora	308.11	7,394.76	7,362.22	99.56%
Alternativa 14	2 ensacadoras	189.09	4,538.16	3,707.68	81.70%
Alternativa 15	3 ensacadoras	189.10	4,538.46	2,486.62	54.79%
Alternativa 16	4 ensacadoras	189.08	4,537.89	1,857.13	40.93%

Primero, encontramos el análisis de una y dos ensacadoras de ensacado. Para una ensacadora el tiempo de procesamiento es de 308.11 días, que representa casi un año para poder procesar toda la demanda anual, por lo que no se considera viable.

Continuando con el análisis de la Tabla 4.9, tenemos los tiempos de dos máquinas con una capacidad triangular, que correspondería a 189.09 días, el cual sería el óptimo esperado. El nivel de utilización es de 81.70% en promedio, y se podría considerar adecuado.

Finalmente, podemos observar que el tiempo de procesamiento para tres y cuatro ensacadoras a una capacidad triangular es de 189 días en promedio, el más bajo posible. También se puede observar que el porcentaje de utilización es de 54.79% y 40.93%, que son considerablemente bajos y podría representar una desventaja y pérdidas económicas para la empresa.

Del análisis de las tablas de tiempos se obtuvieron varios escenarios tanto positivos como negativos, basándonos en el tiempo esperado que sería de 189 días, exactamente el tiempo de zafra calculado. Para presentar un resultado más enfocado, se compararon las alternativas elegibles, para encontrar entre ellas cuales son las más convenientes para el proyecto.

Se elaboró una tabla para comparar de mejor manera los datos obtenidos de todos los escenarios. Se establecieron rangos para clasificar los resultados obtenidos, para el indicador “Tiempo” se asignaron tres rangos, el primero fue menos de 200 días y se le dio color verde a la casilla, siendo el color óptimo. El segundo rango que se le asignó, un color amarillo, incluye los datos que van de 200 a 365 días, siendo éste un color aceptable. El tercero engloba los datos que están por arriba de los 365 días y se marcan en color rojo (véase Tabla 4.10), indicando un rango deficiente.

Tabla 4.10 Colores asignados para los rangos del indicador "Tiempo".

Rangos de indicador "Tiempo"	
	Menos de 200 días
	200 - 365 días
	Más de 365 días

Los rangos que se designaron para el indicador “porcentaje de utilización” fueron tres, el primero incluyó los datos que van del 90% al 100% y se resaltan con color verde, siendo éste el valor esperado. El siguiente rango se estipuló para los datos que abarcan del 80% al 90% y se le asignó el color amarillo, indicando un resultado aceptable. Finalmente, en color rojo, se seleccionaron los datos que fueran menores de 80%, mostrando un resultado deficiente (véase Tabla 4.11).

Tabla 4.11 Colores asignados para los rangos del indicador "Porcentaje de Utilización".

Rangos de indicador "Porcentaje de Utilización"	
	De 90% a 100%
	De 80% a 90%
	Menos de 80%

Para poder realizar la evaluación de los escenarios se utilizaron los siguientes criterios. Para considerar un escenario como óptimo se espera que la casilla correspondiente al tiempo de procesamiento y la casilla de porcentaje de utilización de la alternativa estén ambas en verde. En caso de que la casilla de tiempo esté en verde y la de porcentaje de utilización esté en amarillo, se considerará que es una opción “Muy Bueno”. Si la casilla de tiempo se encuentra en amarillo y la casilla de porcentaje de utilización está en verde o amarillo se considera una opción aceptable. Finalmente, si alguna de las casillas o ambas casillas están en rojo se asignará al escenario la etiqueta de “deficiente” (véase Tabla 4.12).

Tabla 4.12 Combinaciones de colores y resultados de la evaluación

Resultados de evaluación de acuerdo colores		
Tiempo	Porcentaje de utilización	Evaluación
		Óptimo
		Muy Bueno
		Aceptable
		Aceptable
		Deficiente

Tomando en cuenta los criterios de evaluación de las Tabla 4.10, Tabla 4.11 y Tabla 4.12 se obtiene la Tabla 4.13, la cual muestra el resumen de los 32 escenarios posibles. Dicha tabla se muestra en la siguiente página.

Tabla 4.13 Tabla de resumen de escenarios propuestos

Alternativas	Máquinas	Turnos	Capacidad	Tiempo	Porcentaje Utilización	Evaluación
Alternativa 1	1	2	Mínima	453.29	100.00%	Deficiente
Alternativa 2	2	2	Mínima	257.87	98.55%	Aceptable
Alternativa 3	3	2	Mínima	189.37	90.04%	Óptimo
Alternativa 4	4	2	Mínima	189.36	67.45%	Deficiente
Alternativa 5	1	2	Promedio	412.09	99.99%	Deficiente
Alternativa 6	2	2	Promedio	235.37	98.00%	Aceptable
Alternativa 7	3	2	Promedio	189.37	81.54%	Muy Bueno
Alternativa 8	4	2	Promedio	189.36	61.16%	Deficiente
Alternativa 9	1	2	Máxima	377.75	99.98%	Deficiente
Alternativa 10	2	2	Máxima	218.54	97.35%	Aceptable
Alternativa 11	3	2	Máxima	189.37	74.95%	Deficiente
Alternativa 12	4	2	Máxima	189.36	56.21%	Deficiente
Alternativa 13	1	2	Triangular	408.07	99.99%	Deficiente
Alternativa 14	2	2	Triangular	236.64	97.54%	Aceptable
Alternativa 15	3	2	Triangular	189.37	81.95%	Muy Bueno
Alternativa 16	4	2	Triangular	189.36	61.98%	Deficiente
Alternativa 17	1	3	Mínima	340.06	99.99%	Aceptable
Alternativa 18	2	3	Mínima	189.09	89.92%	Muy Bueno
Alternativa 19	3	3	Mínima	189.03	58.85%	Deficiente
Alternativa 20	4	3	Mínima	189.05	44.96%	Deficiente
Alternativa 21	1	3	Promedio	309.14	99.97%	Aceptable
Alternativa 22	2	3	Promedio	189.08	81.52%	Muy Bueno
Alternativa 23	3	3	Promedio	189.08	53.35%	Deficiente
Alternativa 24	4	3	Promedio	189.08	40.76%	Deficiente
Alternativa 25	1	3	Máxima	283.38	99.38%	Aceptable
Alternativa 26	2	3	Máxima	189.08	74.93%	Deficiente
Alternativa 27	3	3	Máxima	189.08	49.95%	Deficiente
Alternativa 28	4	3	Máxima	189.08	37.47%	Deficiente
Alternativa 29	1	3	Triangular	308.11	99.56%	Aceptable
Alternativa 30	2	3	Triangular	189.09	81.70%	Muy Bueno
Alternativa 31	3	3	Triangular	189.10	54.79%	Deficiente
Alternativa 32	4	3	Triangular	189.08	40.93%	Deficiente

De todas alternativas analizadas anteriormente se eligieron las que se consideraron mejores de acuerdo a los resultados y rangos propuestos, en este caso fueron elegidas las opciones que tuvieran evaluación “Óptimo” y “Muy Bueno”. Los escenarios que cumplían con dichas características fueron 6, las cuales podemos observar en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Escenarios "Óptimo" y "Muy Bueno"

Alternativas	Máquinas	Turnos	Capacidad	Tiempo	Porcentaje Utilización	Evaluación
Alternativa 3	3	2	Mínima	189.37	90.04%	Óptimo
Alternativa 7	3	2	Promedio	189.37	81.54%	Muy Bueno
Alternativa 15	3	2	Triangular	189.37	81.95%	Muy Bueno
Alternativa 18	2	3	Mínima	189.09	89.92%	Muy Bueno
Alternativa 22	2	3	Promedio	189.08	81.52%	Muy Bueno
Alternativa 30	2	3	Triangular	189.09	81.70%	Muy Bueno

Dado que se consideraron los mejores escenarios posibles, se realizó un análisis económico de dichos escenarios, que se muestra en la Tabla 4.15 . Se tomaron tres costos importantes para este análisis, el primero fue el costo de las máquinas, este dato se obtuvo de las estimaciones dadas por la empresa del costo de mercado por máquina ensacadora, que corresponden a \$8,949,020.66 pesos por ensacadora. Para las alternativas 3,7,15 se consideró el costo de 3 máquinas, por lo que se multiplicó el costo por 3, así como para los escenarios 18, 22, 30 en los cuales se multiplicó por 2 dado que contemplan solo 2 ensacadoras.

El costo de mano de obra se obtuvo de igual manera de los datos proporcionados por la empresa, basados en los datos históricos del pago de operadores en otros ingenios y estimaciones realizadas para el proyecto. Se asignó la cantidad de \$679.72 por pago de turno, y se hizo el cálculo total de ese costo multiplicando \$679.72 por el número de máquinas, por el número de días y por el número de turnos de la alternativa.

Para obtener el tiempo ocioso se hizo el cálculo basándose en el porcentaje no utilizado de cada máquina por el costo de mano de obra. El porcentaje no utilizado de las ensacadoras se obtuvo sacando la diferencia de uno menos el porcentaje de utilización.

Tabla 4.15 Costos totales de escenarios elegidos.

Alternativas	Máquinas	Mano de obra	Tiempo Ocioso	Total
Alternativa 3	\$26,847,062.00	\$772,306.36	\$76,895.97	\$27,696,264.33
Alternativa 7	\$26,847,062.00	\$772,292.77	\$142,565.24	\$27,761,920.01
Alternativa 15	\$26,847,062.00	\$772,326.75	\$139,430.72	\$27,758,819.48
Alternativa 18	\$17,898,041.33	\$771,154.24	\$77,770.90	\$18,746,966.47
Alternativa 22	\$17,898,041.33	\$771,145.74	\$142,507.73	\$18,811,694.80
Alternativa 30	\$17,898,041.33	\$771,169.53	\$141,124.02	\$18,810,334.89

Respecto a lo que podemos analizar de la Tabla 4.15, es significativa la diferencia que representan las máquinas ensacadoras en los resultados económicos, dado que el costo por ensacadora es alto comparado con los demás factores. Otro punto a resaltar es que el costo de mano de obra es muy similar entre todos los escenarios seleccionados, por lo que no se podría considerar un factor determinante en la toma de decisiones para este análisis. Por otra parte, el tiempo ocioso si marca una diferencia más alta, pero que no resulta representativa a comparación del costo de las máquinas.

Para un mejor análisis de los costos de cada alternativa, se propuso obtener los costos anuales por escenario a 5, 10 y 15 años, tal como se muestra en la Tabla 4.16. Para el cálculo de costos anuales de las ensacadoras por alternativa, se obtuvo el valor anual de las máquinas por medio de métodos de ingeniería económica, buscando el valor anual dado un valor presente y aplicando las fórmulas pertinentes, tomando como tasa de interés, la tasa actual de los Cetes la cual es de 11%. Una vez obtenido el valor anual por las ensacadoras, se le sumaron los costos de mano de obra y tiempo ocioso presentados en la Tabla 4.15, para así obtener el valor anual de cada alternativa en los diferentes periodos de tiempo.

Tabla 4.16 Costos anuales de escenarios elegidos a 5, 10 y 15 años

Alternativas	Costo anual a 5 años	Costo anual a 10 años	Costo anual a 15 años
Alternativa 3	\$8,113,220.21	\$5,407,871.77	\$4,582,695.44
Alternativa 7	\$8,178,875.89	\$5,473,527.45	\$4,648,351.12
Alternativa 15	\$8,175,775.35	\$5,470,426.92	\$4,645,250.58
Alternativa 18	\$5,691,603.72	\$3,888,038.10	\$3,337,920.54
Alternativa 22	\$5,756,332.05	\$3,952,766.43	\$3,402,648.88
Alternativa 30	\$5,754,972.14	\$3,951,406.51	\$3,401,288.96

Como podemos observar en la Tabla 4.16, las alternativas 3,7,15 resultan más costosas, esto podría estar relacionado al costo de las ensacadoras, dado que estos escenarios incluyen 3 ensacadoras. Económicamente hablando, el escenario más conveniente sería la alternativa 18, que propone 3 turnos con 2 máquinas a una velocidad mínima, generando el costo anual más bajo de los escenarios propuestos.

El costo anual entre las propuestas es similar, y la diferencia entre ellas va disminuyendo conforme se aumenta el número de años a analizar. Cualquiera de las 6 alternativas podría ser factible y darían buenos resultados a la empresa, ya que cumplen con los criterios de tiempo y utilización de las máquinas, y económicamente representan diferencias de entre 2.5 y 1.3 millones de pesos.

En resumen, de las 32 alternativas, 6 fueron las que resultaron factibles, tomando en cuenta que terminan a la par con el tiempo de zafra y además las ensacadoras están en uso más del 80% del tiempo de trabajo. Para un mejor análisis se decidió comparar los costos que generan cada una de las alternativas, guiándose por el costo de las ensacadoras, costo de mano de obra y costo de tiempo ocioso, y como resultado se observó que la opción menos costosa es colocar 2 máquinas y tener 3 turnos de trabajo. En base a lo anterior, se concluye que, cualquiera de las 6 alternativas cubren los requisitos de tiempo y porcentaje de utilización satisfactoriamente por lo que son elegibles, así bien, al tratarse de un proyecto que tardará varios años en finalizar y tomando en cuenta que la demanda puede crecer en los siguientes años, se recomienda elegir la opción de 3 ensacadoras y 2 turnos, dado que aunque es más costoso, permite mayor holgura para adaptarse a las demandas que pudiesen incrementar en un futuro, ya que si los dos turnos no fueran suficientes para cubrir el ensacado de los super sacos entrantes al CEDIS, se tendría la posibilidad de agregar otro turno con una inversión mucho menor de la que se necesitaría en la alternativa de 2 ensacadoras y 3 turnos donde se tendría que conseguir otra ensacadora para cumplir con la producción debido a que ya se cubren todos los turnos posibles. Esto sin contar el tiempo que tomaría la compra, instalación y calibración de la maquinaria, el cual se considera sería alto y repercutiría directamente en las entradas económicas al CEDIS.

Conclusiones

La industria azucarera desempeña un papel crucial en el estado de Veracruz, ya que no solo contribuye de manera significativa a la economía local, sino que también forma parte de la identidad histórica y cultural de la región. A lo largo de los años, Veracruz se ha destacado como uno de los principales productores de azúcar en México, generando empleo y fomentando el desarrollo de comunidades rurales. Además, la producción de azúcar es un componente vital de la industria agroalimentaria, y sus derivados tienen un impacto en la diversificación económica del estado.

La importancia de la industria azucarera en Veracruz se refleja en su capacidad para impulsar el crecimiento económico, fortalecer la seguridad alimentaria y contribuir a la preservación de tradiciones culturales arraigadas en la región. En un contexto más amplio, esta industria juega un papel fundamental en la producción y abastecimiento de azúcar, un insumo esencial para la industria alimentaria y la exportación. Por lo tanto, la industria azucarera de Veracruz no solo es un motor económico sino también un símbolo de la riqueza y diversidad de este estado mexicano.

En resumen, la industria azucarera es un pilar fundamental en la economía y la herencia cultural de Veracruz, y su contribución a la prosperidad regional y nacional no debe subestimarse.

Por otro lado, tal y como se analizó a lo largo del proyecto, la simulación desempeña un papel crucial en el análisis de proyectos de expansión y la toma de decisiones en las empresas, ya que permite evaluar de manera precisa y completa el impacto de diversas estrategias antes de implementarlas. Esto es esencial en una industria tan compleja y sujeta a múltiples factores, como la azucarera, que está influenciada por variables climáticas, fluctuaciones de precios y demanda del mercado.

Al utilizar la simulación, las empresas azucareras pueden modelar escenarios hipotéticos, teniendo en cuenta factores como la capacidad de producción, los costos, la disponibilidad de recursos y las condiciones del mercado. Esto permite a los encargados de tomar las decisiones comprender mejor las implicaciones de sus elecciones y minimizar los riesgos asociados a la expansión de operaciones. Además, la simulación facilita la identificación de

posibles cuellos de botella y la optimización de procesos, lo que puede conducir a una mayor eficiencia y rentabilidad.

En última instancia, la simulación brinda a las empresas azucareras la capacidad de tomar decisiones informadas y estratégicas, lo que es fundamental para el éxito en un mercado altamente competitivo. La importancia de la simulación radica en su capacidad para prever escenarios, mitigar riesgos y maximizar el retorno de la inversión, lo que beneficia tanto a las empresas como a la industria azucarera en su conjunto. En un entorno empresarial en constante cambio, la simulación se convierte en una herramienta indispensable para garantizar la toma de decisiones efectivas y el crecimiento sostenible.

Conociendo la importancia tanto de la industria azucarera como de la simulación, el objetivo principal de esta tesis fue presentar un modelo de simulación que pudiera representar la logística interna del nuevo Centro de Distribución (CEDIS) propuesto de una empresa azucarera de la región, así como proponer y evaluar escenarios que reflejen el mejor desempeño del mismo. Dicho objetivo fue logrado obteniendo un modelo en 3D mediante el software Simio, que además de mostrar la manera en la que se espera que funcione el nuevo CEDIS, también sirvió de ayuda para predecir comportamientos que tendrá el CEDIS con cambios en diferentes parámetros como velocidades de máquinas, el número de ensacadoras y variaciones de turnos.

Se crearon 32 escenarios a partir de la combinación de tres variables que se consideraron determinantes en el área de ensacado, las cuales fueron número de turnos por día (2 o 3), número de ensacadoras (de 1 a 4) y capacidad por ensacadora (Mínima, Promedio, Máxima o Triangular), todas estas alternativas fueron simuladas para posteriormente evaluar los resultados. Para el análisis de escenarios se tomaron en cuenta dos indicadores que se consideran importantes dentro del proceso, los cuales fueron el tiempo de procesamiento total y el porcentaje de utilización de las ensacadoras. Dichos indicadores marcaron la pauta para considerar viables o no aceptables las alternativas a analizar. Al final, las mejores alternativas resultaron ser 6 de 32, las cuales fueron las que contenían 3 máquinas con 2 turnos o 2 máquinas con 3 turnos. Después se realizó un análisis económico de las 6 mejores alternativas, en el que se evaluó en base a los costos totales del sistema. Estos costos fueron calculados con respecto a al costo de los indicadores, que fueron el costo de compra de las

ensacadoras de acuerdo al número de máquinas por escenario; el costo de mano de obra el cual resulta de la multiplicación del costo por turno por el número de ensacadoras, por la cantidad de turnos y por la cantidad de días de la alternativa; y el costo por tiempo ocioso que fue calculado en base a el porcentaje de no utilización multiplicado por el costo de mano de obra para obtener la cantidad de dinero que se pierde en los tiempos no trabajados. Dicho análisis presentó que el costo más bajo lo tenía las alternativas con 2 ensacadoras y 3 turnos, pero como ya mencionó, la industria azucarera está en constante crecimiento, por lo que, esperando un crecimiento anual de la demanda, se propone en el futuro cercano elegir las alternativas que sugieren 3 ensacadoras y 2 turnos.

A partir de lo expuesto anteriormente, podemos concluir que hacer la simulación del modelo en base a simulación de eventos discretos en el software Simio ha sido la mejor decisión dado que es un programa muy completo y cuenta con los elementos suficientes que nos permitieron reflejar con exactitud, tanto técnica como visual, la propuesta del nuevo CEDIS. También permitió crear escenarios nuevos basándose en el modelo original y proponiendo situaciones hipotéticas para conocer el comportamiento que tendría el proceso de ensacado en cuanto a tiempos y porcentajes de utilización.

Se espera que este trabajo sea de ayuda para la toma de decisiones en el desarrollo de proyecto del Centro de Distribución, y permita dar un panorama de lo que se podrá observar en el proceso y el funcionamiento de su logística interna, tanto presente como futura.

Recomendaciones

Si bien, actualmente no se tiene el centro de distribución establecido de manera física para comprobar y calibrar algunos datos obtenidos de la simulación, se propone que, a futuro, cuando se encuentre el CEDIS en funcionamiento, se haga una revalidación de modelo y se agreguen más parámetros, como podrían ser tiempos de paro de las ensacadoras, fallas técnicas, mantenimientos preventivos y correctivos, por mencionar algunos, para que se puedan obtener resultados aún más realistas.

Por otra parte, el Centro de Distribución tiene la capacidad operativa para aumentar su producción, por lo que se recomendaría considerar colocar 3 máquinas ensacadoras, y dejar

espacio para una cuarta, dado que, según los datos del modelo de simulación, el CEDIS podría seguir trabajando de manera efectiva si hubiera un aumento de hasta el 50% en la llegada de super sacos, siempre y cuando tuviera 3 o 4 ensacadoras trabajando.

Referencias bibliográficas

- Aguilar R.N. (2012). Paradigma de la diversificación de la agroindustria azucarera de México. *Convergencia Revista de ciencias sociales*. 19(59):187-213.
- Aguilar R.N., Rodríguez, D. A. Castillo M. A.; Herrera S. A. (2012). The Mexican sugarcane industry, overview, constraints, current status and long-term trends. *Springer Sugar Tech* 14(3): 207-222.
- Aguilar Rivera, N. (2014) Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México. *Nova scientia* ;6(12): 125-161. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052014000200007&lng=es.
- Aguilar Rivera, Noé, Galindo Mendoza, Guadalupe, Fortanelli Martínez, Javier, & Contreras Servín, Carlos. (2011). Factores de competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Región y sociedad*, 23(52), 261-297. Recuperado en 01 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252011000300009&lng=es&tlng=.
- Aguilar Rivera, Noé. (2010). La caña de azúcar y sus derivados en la huasteca san Luis potosí México. *Diálogos Revista Electrónica de Historia*, 11 (1), 81-110. Recuperado el 06 de junio de 2022, de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-469X2010000100003&lng=en&tlng=es.
- Aguilar-Rivera, Noé. (2014). Índice de diversificación de la agroindustria azucarera en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 11(4), 441-462. Recuperado en 06 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722014000400001&lng=es&tlng=es.
- Allen Joines, J., & Dean Roberts, S. (2015). *Simulation modeling with SIMIO: a workbook*. Pensilvania: SIMIO LLC
-

- Coss Bu, R. (1999). Simulación un enfoque práctico. México: Limusa
- Costa Salas, Yasel José, & Castaño Pérez, Néstor Jaime. (2015). Simulación y optimización para dimensionar la flota de vehículos en operaciones logísticas de abastecimiento-distribución. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 23(3), 372-382. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052015000300006>
- Diuza Vallejo, R. D. (2016) Diseño de una metodología para el uso de la simulación como herramienta para la enseñanza de la gestión de operaciones en la cadena de suministro. Facultad de ingeniería departamento de operaciones y sistemas programa de ingeniería industrial. Recuperado de: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/8840/T06623.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Félez Blasco, A., & Oliveros Colay, M. (2014). Modelización y simulación con SIMIO de procesos industriales y logísticos. Zaragoza: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial.
- Fuentes-Rosas, L., López-Cabrera, A. G., Tobón-Galicia, L. G., & Moras-Sánchez, C. G. (2019). Análisis de la red logística de un cruce vial utilizando simulación en SIMIO para evaluar la alternativa de colocar un semáforo. *Revista Ciencia*, 1. Recuperado de: <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2019/CID016.pdf>
- Guerrero Hernández, María Alejandra, & Henriques Librantz, André Felipe. (2014). Simulación de eventos discretos de la cadena logística de exportación de commodities. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(2), 257-262. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000200011>
- Jiménez Avelló, A., Castro Gil, M., & Costa García, J. M. (2015). Simulación de procesos y aplicaciones. Madrid: Dextra. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/itorizababiblio/133345>
- Law, A. M. 2015. *Simulation Modeling and Analysis*, 5th ed. New York: McGraw-Hill

- Marín Amador, J. C. (2019). Incremento de la productividad de una línea de producción mediante simulación en Simio y Witness. Orizaba, Veracruz: Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Palacios-Vélez, Oscar L., Mejía-Sáenz, Enrique, Piñón-Sosa, Luis, & Sánchez-Hernández, Hugo. (2011). La frescura de la caña de azúcar: Un caso de estudio en tres ingenios de México. *Agrociencia*, 45(7), 831-847. Recuperado en 06 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000700008&lng=es&tlng=es.
- Rabassa Olazábal, G., González Suárez, E., Pérez Sánchez, A., Miño Valdés, J., & Pérez Martínez, A. (2016). Procedimiento para la evaluación de oportunidades de negocio en la industria azucarera. *Visión de Futuro*, 153-174
- Riverola, J., & Cuadrado, B. (2003). Arte y oficio de la simulación. Un entorno completo y su uso en la mejora de los servicios. España: EUNSA. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/itorizababiblio/47455>
- Rodríguez, D. A. Castillo M. A.; Herrera S. A. (2012). Sucroquímica, alternativa de diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar. *Multiciencias*, 12(1):7-15
- Sacramento-Rivero, J.C., Romero, G., Cortés-Rodríguez, E., Pech, E., Blanco-Rosete, S. (2010). Diagnóstico del desarrollo de biorrefinerías en México. *Revista mexicana de ingeniería química*, 9(3), 261-283.
- Rosas, L. F., Cabrera, A. G. L., & Galicia, L. G. T. (2018). ANÁLISIS DE LA POLÍTICA DEL SERVICIO DE COBRO EN UNA PYME USANDO SIMULACIÓN CON SIMIO®. *Mercadotecnia en las PYMES Casos y aplicaciones*, 226. Recuperado de: http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2019/CID016.pdf__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=230
- Urquía Moraleda, A. (2013). Modelado y simulación de eventos discretos. México: UNED Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Valdivia Sánchez, L. A. (2014). Simulación del proceso de elaboración de pulpa de palta congelada en Software Simio. Recuperado de: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1121>
-

Félez Blasco, A., & Oliveros Colay, M. (2014). Modelización y simulación con SIMIO de procesos industriales y logísticos. Zaragoza: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial.