

Simulación y Optimización de Procesos Productivos en Kola Sol S.A.S.

Paula Andrea Jacobo Vega, Kevin Stiven Leal Guzman y Manuela Cruz Lara

Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Minuto de Dios

Tesis de Grado de Ingeniería Industrial

Docente: Luis Alberto Rojas Farfan

Mayo de 2026

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado a las personas que nos enseñaron el valor de la perseverancia, la disciplina y el rigor científico. A todos aquellos que, de manera directa o indirecta, fueron nuestro motor de impulso para cuestionar lo establecido y buscar soluciones técnicas innovadoras para transformar nuestra realidad industrial. A Dios, por permitirnos coincidir como equipo y por brindarnos la fortaleza necesaria para convertir un desafío académico en un aporte tangible para la ingeniería. Este logro es el testimonio del esfuerzo compartido y de nuestra convicción por la excelencia.

Dedico este proyecto a mis padres, quienes con su apoyo me motivaron a seguir con mis estudios académicos para perseguir mis sueños y alcanzar mis metas. A mi novio, por su compañía incondicional en cada jornada de desvelo y por ser el aliento necesario en los momentos de cansancio. De manera especial, a mis compañeros de equipo por remar juntos contra la marea y convertir nuestros sueños individuales en un logro colectivo. – Paula Andrea Jacobo Vega

Dedico esta investigación a Dios, por darme las fuerzas necesarias para dar lo mejor de mí durante este proceso y a lo largo de mi formación universitaria. A mis padres y a mi hermana, por ser mi mayor apoyo cada día, por quienes me esfuerzo para salir adelante y hacerlos sentir orgullosos de lo que he logrado. A mis amigos y colegas de la universidad, con quienes conformamos un gran equipo para alcanzar los resultados esperados, pues sin su perseverancia nada de esto habría sido posible; y finalmente, a mi mascota Tedy, por su compañía fiel e incondicional a lo largo de este proceso. – Kevin Stiven Leal Guzmán.

Dedico este trabajo, fruto de mi esfuerzo y constante dedicación, primeramente, a Dios, quien fue mi guía espiritual y me brindó la fe y fortaleza necesarias para no rendirme y culminar esta etapa de mi vida. A mi pareja, por ser mi compañero incondicional en cada desvelo y por creer en mi potencial en todo momento. De manera especial, dedico este triunfo a mis padres; su entrega y compromiso me permitieron alcanzar la meta de ser Ingeniera Industrial, y espero que este logro sea un motivo de orgullo para ellos. A mi abuela materna, mi segunda madre, a quien le debo valiosas enseñanzas de vida. Finalmente, a mis compañeros de equipo, quienes más que un grupo de trabajo se convirtieron en una familia, permaneciendo presentes y firmes en cada momento de dificultad. – Manuela Cruz Lara.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento al maestro Luis Felipe Lozada Valencia, quien fue el gran impulsador de este proyecto desde sus inicios. Su visión y guía en el aula de clase fueron la chispa para motivarnos a transformar una idea académica en una propuesta de investigación formal; sin su impulso inicial, este trabajo no habría trascendido las fronteras del salón de clases,

Asimismo, agradecemos de manera especial al maestro Luis Alberto Rojas Farfán, quien asumió la dirección de esta tesis y nos acompañó con dedicación, rigor y motivación constante durante todo el proceso investigativo. Su orientación técnica y su exigencia profesional fueron fundamentales para alcanzar la excelencia en este proyecto de simulación. Para nosotros, ambos docentes han sido pilares esenciales durante toda nuestra formación profesional, brindándonos no solo conocimientos, sino la confianza necesaria para culminar nuestra carrera.

A la empresa Gaseosas Kola Sol S.A.S., por permitirnos realizar esta investigación en sus instalaciones. Agradecemos al personal operativo y administrativo por su apertura durante las jornadas de recolección de datos, facilitando la información necesaria para que este modelo de simulación fuera una representación fiel de la realidad industrial.

A la Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, nuestra casa de estudios, por proporcionarnos el entorno y las herramientas necesarias para convertirnos en profesionales. A todos los docentes que contribuyeron a forjar nuestro criterio y pasión por la ingeniería a lo largo de estos años.

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN	12
2	PROBLEMA	16
2.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2.2	FORMULACIÓN O PREGUNTA PROBLEMA ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
3	OBJETIVOS	23
3.1	OBJETIVO GENERAL	23
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4	JUSTIFICACIÓN	24
5	HIPÓTESIS	25
6	MARCO TEÓRICO	26
6.1	TEORÍA DE LA SIMULACIÓN.....	26
6.2	TEORÍA DE COLAS ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
6.2.1	<i>Modelo de Colas M/M/1</i> ¡Error! Marcador no definido.	
6.2.2	<i>Modelo de Colas M/M/s</i> ¡Error! Marcador no definido.	
6.2.3	<i>Modelo de Producción en Línea</i>	38
6.3	METODOLOGÍA SIX SIGMA (ISO 13053): CICLO DMAIC.....	39
7	ESTADO DEL ARTE	41
8	METODOLOGÍA	47
8.1	ENFOQUE Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	47
8.2	DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL DISEÑO METODOLÓGICO DESARROLLADO PARA EL LOGRO DE LOS OBJETIVOS.....	47
9	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	50
9.1	FASE 1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO	50
9.1.1	<i>Etapa de Acercamiento Institucional y definición de Criterios Visita 1 10 de septiembre 2024</i>	50
9.1.2	<i>Etapa de Reconocimiento, Mapeo Situacional. Visita 2 23 de septiembre 2024</i>	51
9.1.3	<i>Etapa de Caracterización Técnica y Selección del Entorno de Simulación</i>	53

9.1.4	<i>Etapa de Auditoría de Cambios y Diagnósticos Evolutivo Visita 4 11 de Noviembre 2025.....</i>	54
9.2	FASE 2. ESTUDIO DE TIEMPOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS	55
9.2.1	<i>Determinación del Tamaño de la Muestra y Criterios de Representatividad</i>	55
9.2.2	<i>Protocolo de Medición y Delimitación del Ciclo Operativo (Visita 3) 15 de noviembre 2025 .</i>	59
9.2.3	<i>Técnica de Cronometraje y Ejecución en Campo</i>	59
9.2.4	<i>Depuración y Consolidación de la Información Primaria.....</i>	60
9.3	FASE 3. VALIDACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO.....	60
9.3.1	<i>Auditoría de Estabilidad del Layout y Evolución de los Procesos.....</i>	60
9.3.2	<i>Análisis de la variabilidad estacional y Consistencia Operativa.....</i>	61
9.4	FASE 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y MODELADO	62
9.4.1	<i>Análisis de bondad de ajuste y caracterización de distribuciones</i>	63
9.4.2	<i>Implementación de Modelos de Prueba de Eventos Discretos.....</i>	64
9.5	FASE 5. SIMULACIÓN EN FLEXSIM	65
9.5.1	<i>Layout 3D.....</i>	65
9.5.2	<i>Programación de Lógica y Flujos de Eventos Discretos</i>	68
9.5.3	<i>Configuración de dashboards y monitoreo de indicadores</i>	70
9.6	FASE 6: EVALUACIÓN DE MEJORAS Y DISEÑO DE ESCENARIOS FUTUROS	72
9.6.1	<i>Fase Metodológica I: Escenario de Automatización y Escalabilidad Tecnológica</i>	73
10	CONCLUSIONES	77
10.1	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO (OBJETIVO 1):.....	77
10.2	DIAGNÓSTICO DE CUELLOS DE BOTELLA (OBJETIVO 2):	77
10.3	EXPERIMENTACIÓN DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS (OBJETIVO 3):	78
10.4	EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS (OBJETIVO 4):	79
10.5	CONCLUSIÓN HIPÓTESIS:	80
10.6	CONCLUSIÓN GENERAL DEL PROYECTO:	80
11	RECOMENDACIONES	82

Listado de Tablas

1. Tabla 1. Datos Agrupamiento
2. Tabla 2. Datos Inspección

Listado de Figuras

Figura 1 <i>Grupos que Concentran la Mayor Actividad en la Industria en el Año 2022</i>	13
Figura 2 <i>Gráfica de la Función de Probabilidad de Variables Poisson</i>	37
Figura 3 <i>Diagrama de Flujo</i>	52
Figura 4 <i>Layout Esquemático de la Empresa</i>	53
Figura 5 <i>Empresa Actual en Simulador Flexsim</i>	66
Figura 6 <i>Dashboards Output (salida de pacas al final del proceso)</i>	67
Figura 7 <i>Dashboards Inputs (botellas que entran en la línea de producción)</i>	67
Figura 8 <i>Distribución Valores Extremos Ajustada A Los Tiempos De Proceso de Inspección</i>	69
Figura 9 <i>Distribución Cauchy Ajustada a los Tiempos del Proceso de Agrupamiento de Botellas</i>	69
Figura 10 <i>Diagrama Modelado Mejorado</i>	71
Figura 11 <i>Dashboard output (salida de pacas al final de la línea)</i>	71
Figura 12 <i>Dashboard inputs (botellas que entran en la línea de producción)</i>	72
Figura 13 <i>Uso Etiquetado</i>	74
Figura 14 <i>Uso Escáner</i>	74
Figura 15 <i>Uso Agrupamiento</i>	75

Resumen

La industria de bebidas gaseosas enfrenta altos niveles de competitividad, lo que exige sistemas productivos eficientes y sincronizados. En la empresa Gaseosas Kola Sol S.A.S. se identificaron problemas asociados a la variabilidad del factor humano, desincronización entre estaciones y cuellos de botella que afectan la productividad; en este contexto, se desarrolló y evaluó un modelo de simulación en FlexSim de un sistema productivo con configuración tipo flow shop y distribución por procesos, orientado a la producción para inventario (MTS), con el fin de analizar su desempeño y proponer mejoras en la eficiencia operativa.

La metodología se basó en la simulación de eventos discretos integrando la caracterización del sistema, la recolección de datos mediante estudio de tiempos, el ajuste de los datos a distribuciones de probabilidad (incluyendo distribuciones de Cauchy y valores extremos) y la validación del modelo frente al comportamiento real del sistema. El análisis permitió identificar como principal restricción la estación de etiquetado manual, con una saturación del 99.96%, así como una desincronización del 31.5% en el área de inspección. A partir de la evaluación de un escenario con automatización parcial, se incrementó la capacidad de entrada a 4,808 unidades por hora y la producción de 180 a 270 pacas por hora, lo que representa un aumento del 50% en la productividad, junto con una reducción del inventario en proceso y una mejora en la eficiencia operativa.

Estos resultados demuestran que la simulación de eventos discretos constituye una herramienta efectiva para identificar restricciones operativas y evaluar alternativas de mejora,

contribuyendo a la optimización del sistema productivo y al fortalecimiento de la toma de decisiones en entornos industriales.

Palabras Clave.

Simulación de eventos discretos, Software de simulación, productividad, optimización de procesos, cuellos de botella, distribución de probabilidad.

Abstract

Introduction. The CB industry faces high levels of competition, requiring efficient and synchronized production processes. At Gaseosas Kola Sol S.A.S., issues related to human factor variability, lack of synchronization between workstations, and the presence of bottlenecks that negatively impact productivity and generate significant operational losses were identified.

Objective. To develop and evaluate a simulation model in FlexSim to analyze the current production system and propose improvements to increase operational efficiency and the number of finished packages produced per working day.

Methodology. The research was conducted using a discrete-event simulation approach, starting with the production system characterization and data collection through direct observation and time studies. Subsequently, the data were cleaned and statistically analyzed, fitting them to probability distributions. Finally, a FlexSim model was developed to simulate different scenarios and evaluate the improvement alternatives.

Results. The results show that the system presents a bottleneck in manual processes, particularly inspection and labeling. The implementation of automation scenarios increased productivity by 50%, reduced work-in-process inventory, and improved operational efficiency, validating simulation as an effective decision-making tool in industrial environments.

Keywords

discrete-event simulation, simulation software, productivity, process optimization, bottlenecks, probability distribution, Industrial Engineering.

1 Introducción

La producción de bebidas gaseosas se desarrolla a gran escala a nivel mundial, consolidándose como uno de los segmentos más representativos dentro de la industria de alimentos y bebidas. Este tipo de productos se caracteriza por ser una bebida acida con un PH de 2.5 a 4.0, lo cual lo convierte en una bebida carbonatada con 1.5 a 5.0 volúmenes de CO₂, además de contar con agua, sacarosa y otros agregados como conservantes químicos y jugos de frutos; El proceso más simple de creación de una bebida carbonatada es tratamiento de agua, producción de jarabe, combinación del gas con el jarabe y por último el llenado (Denise R.P. Azeredo, 2016).

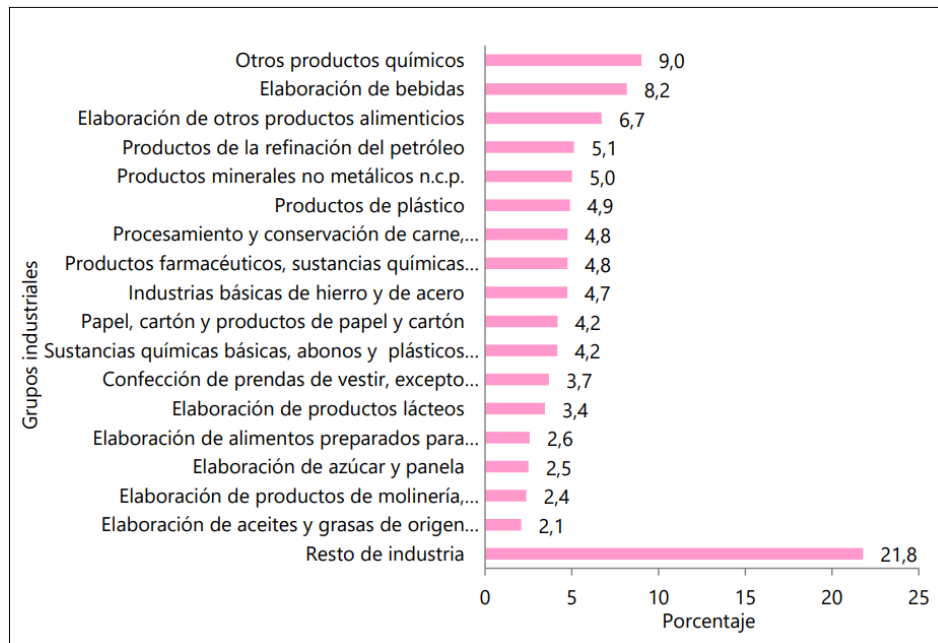
Dicha combinación del jarabe con el gas es lo que le otorga su distintiva sensación burbujeante, la cual fue encontrada por el químico clérigo británico Joseph Priestley alrededor del año 1770, Priestley empezó a interesarse por estudiar las propiedades de los gases, fue así como aplico el descubrimiento de Stephen Sales, el cual consistía en llevar una botella de agua y vaciarla en el sitio donde se recogerá el gas, y al vaciarse el gas exterior ocupara el espacio donde estaba el agua, es por ello que Priestley se dedicó a viajar llevando una botella de agua y vaciarla en la fábrica de cerveza que tenía al lado de su casa. Luego de varios viajes, noto que el agua que estaba dentro de la botella ahora tiene burbujas y una capa de espuma; así descubro que el dióxido de carbono del gas se había disuelto en el agua, formando agua carbonatada (Gómez Domínguez, 2020).

Para el contexto colombiano, la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), la industria de bebidas en Colombia se clasifica dentro del sector agroindustrial, que, a su vez, se subdivide en bebidas alcohólicas y bebidas no alcohólicas; dentro de esta última se incluyen

los sectores de las gaseosas (bebidas carbonatadas, saborizadas y sin alcohol), los jugos y los tés, entre otros productos (Colmenares Perdomo, 2014). Dicha categorización sectorial se vuelve coherente con la relevancia económica del gremio dentro del apartado productivo nacional, en donde, según la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) de 2022, la elaboración de bebidas concentró el 8,2% del valor agregado total de la industria, situándose entre los siete grupos con mayor aporte al Producto Interno Bruto (PIB) manufacturero (DANE, 2024). Como se observa en la figura 1, este grupo se destaca por la capacidad de generación de valor, lo que lo convierte en uno de los mayores sectores tradicionales y reafirmando su rol estratégico dentro del dinamismo industrial del país.

Figura 1

Grupos que Concentran la Mayor Actividad en la Industria en el Año 2022



Nota: Datos del DANE (2024) que muestran la participación porcentual de los principales grupos industriales en Colombia durante 2022, según clasificación CIU.

Las bebidas gaseosas han estado muy presentes en la vida de cada persona; representan una parte importante de la economía y la cultura de cada país. Así, durante más de un siglo, a nivel mundial, el consumo de bebidas carbonatadas alcanzó aproximadamente 329.500 millones de litros en el 2023 (Orús, 2024). Para dimensionar dicha magnitud financiera de este mercado, Estados Unidos se posiciona como el principal referente internacional, registrando unos ingresos totales de 850.000 millones de dólares en el mismo periodo. Las cifras presentadas no solo reflejan los hábitos de consumo masivo, sino que también se evidencia la complejidad logística y el alto impacto macroeconómico de una cadena de suministro que exige una optimización constante para mantener márgenes de rentabilidad; Algunas empresas líderes en este sector son The Coca-Cola Company y PepsiCo, que han optimizado sus procesos de producción mediante la implementación de nuevas tecnologías avanzadas, reduciendo así sus costos y maximizando la eficiencia operativa.

Por otro lado, en el ámbito colombiano, según datos recogidos por el DANE en 2022, se reveló que los colombianos consumieron un total de 51 litros de gaseosa por capital al año. Además, una encuesta titulada “Realidad económica de los colombianos 2023”, realizada por Mobimetrics, muestra que el 78% de los colombianos consumen gaseosas. Regiones como Antioquia y el Eje Cafetero destacan por su alto consumo, seguidas de Bogotá y el Valle del Cauca. Sin embargo, se espera que para el siguiente año exista una disminución significativa del consumo de este tipo de bebidas, debido a la reforma tributaria realizada en Colombia, en la que se introduce un nuevo impuesto saludable a las bebidas azucaradas y los alimentos ultraprocesados (Sectorial, 2023).

Dentro de este panorama competitivo, en el municipio de Girardot se encuentra la empresa Gaseosas de Girardot S.A.S, que comprende su operación a partir de la fabricación de aguas embotelladas y bebidas carbonatadas, siendo su producto estrella la gaseosa Kola Sol, que se

consume en gran medida en los departamentos de Cundinamarca y Tolima, especialmente en la región del Alto Magdalena, siendo una empresa de gran influencia en el sector (EMIS, 2023).

Debido a que el mercado de gaseosas es altamente competitivo y ofrece múltiples alternativas al consumidor, las empresas necesitan operaciones robustas y sincronizadas para sostener su sistema de calidad, servicio y costos (Guevara Holguín & Moncada Pinilla, 2018). Por ello, la investigación se traduce en requisitos operativos, en los que la demanda regional fijará el takt time; se buscará reducir el cycle time en estaciones críticas y monitorear el OEE; y se empleará la simulación de eventos discretos (FlexSim) para evaluar el balanceo de cargas y la automatización, con el fin de incrementar la capacidad diaria y reducir ineficiencias en la línea de 1 L de Kola Sol S.A.S.

2 Problema

2.1 Planteamiento del Problema

En la industria de las bebidas no alcohólicas, que incluye las bebidas gaseosas, se representa como uno de los sectores más dinámicos y rentables del mercado de consumo masivo. Según el informe del IMARC Group (2024), el mercado global de bebidas no alcohólicas alcanzó un valor de aproximadamente USD 629.200 millones, con una proyección de crecimiento anual del 3,84% durante el periodo 2025-2033, hasta superar los USD 886.000 millones. Representando este conjunto, las bebidas carbonatadas se mantienen con una participación dominante, cercana al 45% del mercado global de “soft drinks” (Mordor Intelligence, 2024).

Continuamente, en el segmento de las bebidas no alcohólicas, las bebidas tipo cola siguen siendo las principales demandantes a nivel internacional, lo que impulsa el posicionamiento de marcas como Coca-Cola y PepsiCo, que han liderado el mercado gracias a sus altos niveles de automatización, digitalización y tecnificación de procesos.

A veces uno entra a una tienda, compra una gaseosa y ni siquiera piensa en todo lo que ocurrió antes de que esa botella llegara hasta ahí. Parece un producto simple. Lo curioso es que detrás hay una industria gigantesca, una de las más dinámicas del mundo. Algunas empresas producen más de 100.000 botellas por hora. La cifra suena exagerada, casi inventada, pero refleja bastante bien el nivel de automatización que existe hoy en este sector.

Asimismo, no fue algo que apareciera de la noche a la mañana. El crecimiento de la industria de bebidas gaseosas viene acompañado de varios factores: cambios en los hábitos de consumo, expansión urbana, estrategias de mercadeo cada vez más agresivas y una capacidad

constante para reinventar productos. Nuevos sabores, empaques más prácticos, versiones sin azúcar, campañas publicitarias que convierten una bebida en una experiencia emocional. A veces parece que la industria entendiera mejor los impulsos cotidianos de las personas que muchas políticas públicas.

Además, la tecnología ha cambiado por completo la manera en que funcionan estas empresas. Hoy gran parte de las plantas operan con sistemas automatizados, controles digitales y modelos de simulación que permiten calcular tiempos, desperdicios y niveles de producción con una precisión impresionante. En otras palabras: producir más, gastar menos y cometer menos errores. Esa es la lógica.

Colombia también ha entrado en esa dinámica, aunque a su manera. Desde la apertura económica y la llegada de multinacionales, el sector de bebidas no alcohólicas empezó a transformarse poco a poco. Algunas empresas nacionales modernizaron procesos, incorporaron maquinaria nueva y buscaron competir con estándares internacionales. Sin embargo, el panorama sigue siendo desigual. Mientras unas compañías cuentan con recursos tecnológicos enormes, otras todavía funcionan con limitaciones operativas importantes. Esa diferencia pesa.

Aun así, el consumo sigue siendo alto. Según datos publicados por Valora Analitik, en 2022 el consumo per cápita de gaseosas en Colombia alcanzó aproximadamente 52 litros por persona al año, incluso después de la implementación del llamado “impuesto saludable”. Eso demuestra algo interesante: las decisiones de consumo no siempre cambian al mismo ritmo que las regulaciones.

Durante 2024, además, el sector de bebidas se mantuvo como uno de los más fuertes dentro de la industria de consumo masivo en el país. Representó cerca del 55% del total del mercado y aportó buena parte del crecimiento del sector, de acuerdo con cifras de La Nota Económica. No es

un dato menor. Las bebidas tienen un peso económico enorme y siguen moviendo inversión, empleo y distribución en prácticamente todo el territorio nacional.

De hecho, la industria de alimentos y bebidas aporta alrededor del 3% del Producto Interno Bruto colombiano. También genera cientos de miles de empleos directos e indirectos. Detrás de una botella hay transportadores, operarios, comerciantes, distribuidores y pequeños negocios que dependen diariamente de esa cadena productiva.

Las proyecciones tampoco muestran una desaceleración cercana. Informes especializados estiman que el mercado colombiano de bebidas no alcohólicas alcanzó un valor aproximado de USD 6,04 mil millones en 2024 y que podría seguir creciendo a una tasa anual cercana al 5% durante los próximos años. Todo indica que seguirá siendo un sector competitivo y en expansión.

Ese crecimiento nacional también se refleja en regiones específicas del país. En el centro y suroccidente colombiano han aparecido empresas que buscan posicionarse mediante estrategias de eficiencia y distribución. En ese contexto, ciudades como Girardot han adquirido relevancia por su ubicación estratégica y su conexión con mercados importantes como Bogotá y Neiva.

Girardot, en particular, se ha convertido en un punto logístico interesante para el movimiento de bebidas gaseosas. Su ubicación facilita el transporte y la distribución hacia distintas regiones, algo clave en una industria donde el tiempo y los costos de operación importan tanto. Y aunque muchas veces estas dinámicas pasan desapercibidas, terminan influyendo directamente en la economía regional y en el crecimiento de empresas locales que intentan mantenerse competitivas dentro de un mercado cada vez más exigente.

En este entorno entra a operar la empresa Gaseosas Kola Sol S.A.S., reconocida por su producción y distribución de bebidas gaseosas, refrescos y agua, y que se convierte en un referente local gracias a su sabor característico y su compromiso con la calidad.

Dicha empresa fue fundada en 1947 por Ismael Jaramillo Tamayo, bajo la razón social Gaseosas El Sol, y comenzó sus operaciones en un pequeño local con apenas 11 trabajadores, realizando todo el proceso manualmente. Con el paso de los años, la organización empieza el proceso de modernización, que incluye la adquisición de equipos de llenado y envasado de última generación, como la línea de botellas PET y la llenadora Crown en 1994, lo que se consideró el inicio de su tecnificación. Posteriormente, entre 1996 y 2003, la empresa amplía su portafolio de productos, mediante la incorporación de nuevas presentaciones como Kola Sol Light y Uva Sol, así como agua con y sin gas. En 2005 se realizó una reestructuración, en la que la marca fue adquirida por nuevos empresarios bajo el nombre de Gaseosas de Girardot S.A.S., quienes impulsaron la investigación, el desarrollo tecnológico y el fortalecimiento del área de gestión humana.

Actualmente, la empresa produce y distribuye una variada gama de productos en los que se destacan Kola Sol, Kola Light, Uva Sol y agua en diferentes presentaciones (335 ml, 600 ml, 1 L y 2 L), siendo su misión “Producir y comercializar bebidas de alta calidad que reflejen el auténtico sabor de nuestra región, brindando satisfacción a nuestros consumidores, apoyando el desarrollo sostenible y fortaleciendo alianzas con proveedores y distribuidores”. Teniendo en cuenta esto, la organización busca ser competitiva y líder a nivel nacional, superando las expectativas de los clientes y asegurando el crecimiento empresarial.

En términos operativos, la estructura organizacional de la planta consta de 45 colaboradores, distribuidos entre las áreas de producción, administrativas, calidad y soporte.

La problemática identificada en Gaseosas Kola Sol S.A.S. revela una situación frecuente en muchas industrias regionales: plantas con tradición y experiencia operativa, pero sostenidas sobre estructuras productivas parcialmente automatizadas que comienzan a mostrar señales de saturación frente al crecimiento de la demanda. La línea de producción, organizada bajo un flujo continuo y soportada principalmente por la máquina DXGF 32-32-10, funciona como un organismo cuyo corazón late con precisión mecánica, mientras sus extremidades (etiquetado, inspección, traslado y empaque) todavía dependen en gran medida del ritmo humano. Por lo anterior al ser humano, a diferencia de las máquinas, se fatiga, se retrasa, improvisa y resiste; aunque a veces también salva procesos que la automatización no sabe resolver.

La empresa posee una automatización cercana al 50%, condición que le ha permitido mantener una operación estable; sin embargo, también ha originado importantes limitaciones en la eficiencia operativa. Las actividades manuales generan cuellos de botella que afectan la continuidad del flujo productivo, especialmente durante temporadas de alta demanda como diciembre, Semana Santa y las festividades de octubre en Girardot. En dichos periodos, la producción aumenta considerablemente, alcanzando hasta siete tinajas de jarabe diarias, situación que exige una coordinación más rigurosa de recursos, mayores turnos de trabajo y un desempeño continuo de la maquinaria.

A esta situación se suma la ausencia de herramientas tecnológicas orientadas a la planificación científica de la capacidad productiva. La empresa opera, en gran medida, sobre la experiencia acumulada y la reacción inmediata ante los problemas diarios; una lógica funcional en

mercados pequeños, pero peligrosa en escenarios competitivos donde la eficiencia se mide en segundos y los desperdicios se castigan como pecados industriales. Paradójicamente, mientras las grandes compañías de bebidas utilizan modelos digitales capaces de anticipar comportamientos futuros con precisión quirúrgica, muchas empresas regionales continúan tomando decisiones estratégicas “a ojo”, como navegantes que cruzan una tormenta guiándose únicamente por intuición.

La distribución actual de la planta también presenta dificultades relacionadas con el aprovechamiento del espacio y la circulación del producto. Las áreas de inspección, etiquetado y estibado experimentan altos niveles de congestión en temporadas críticas, provocando acumulación de inventario intermedio, tiempos de espera e interrupciones en la línea. Del mismo modo, la dependencia externa de botellas PET provenientes de Bogotá introduce vulnerabilidades logísticas que afectan la programación de la producción y la estabilidad de los inventarios. En consecuencia, cualquier modificación empírica del layout, realizada sin análisis previo, podría generar efectos contrarios a los esperados: aumento de desperdicios, reprocesos y paradas operativas.

Ante este panorama, la simulación computacional surge como una alternativa estratégica para comprender y optimizar el sistema productivo sin comprometer directamente la operación real. La construcción de un modelo en FlexSim permitiría representar virtualmente el comportamiento actual de la planta, identificar restricciones operativas, analizar tiempos de ciclo, evaluar el flujo de materiales y experimentar distintos escenarios de mejora antes de implementarlos físicamente. En otras palabras, la simulación funciona como un laboratorio industrial donde los errores cuestan datos y no pérdidas económicas.

De esta manera, el desarrollo de un modelo de simulación no solo facilitaría la identificación de cuellos de botella y la evaluación de estrategias de automatización parcial o total,

sino que también contribuiría a una mejor planificación de recursos, distribución de espacios y utilización de la mano de obra disponible. Todo ello con el propósito de incrementar la eficiencia operativa, reducir tiempos improductivos y fortalecer la competitividad de Gaseosas Kola Sol S.A.S. en un entorno industrial cada vez más tecnificado y exigente.

2.2 Formulación del problema

¿Cómo la construcción y experimentación de un modelo de simulación en FlexSim del sistema productivo actual permite evaluar y proponer mejoras que incrementen la eficiencia operativa y reduzcan los cuellos de botella en la línea de producción de Gaseosas Kola Sol S.A.S.?

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de simulación en FlexSim para la línea de producción de Gaseosas Kola Sol S.A.S., con el fin de analizar cómo se comporta el proceso productivo y evaluar posibles mejoras que ayuden a aumentar la producción diaria.

3.2 Objetivos Específicos

1. Describir el funcionamiento actual del sistema de producción de la empresa, teniendo en cuenta los tiempos de ciclo, el flujo de materiales y el desempeño de cada estación de trabajo.
2. Identificar las operaciones que presentan mayores demoras, acumulación de producto o pérdidas de rendimiento dentro de la línea de producción.
3. Proponer y simular diferentes escenarios de mejora en FlexSim para evaluar cambios en la distribución de recursos, personal y procesos.
4. Comparar los resultados obtenidos en cada escenario mediante indicadores de eficiencia y producción, con el fin de determinar la alternativa más conveniente para la empresa.

4 Justificación

La presente investigación nace de la necesidad de analizar el comportamiento de la línea de producción de un litro en Gaseosas Kola Sol S.A.S., ya que durante la operación se han observado situaciones que podrían estar afectando el rendimiento esperado del sistema. Aunque la maquinaria cuenta con una capacidad de trabajo relativamente alta, en la práctica la producción no siempre mantiene el mismo ritmo. En otras palabras, la velocidad instalada de la línea parece ir por un camino y el flujo real de producción por otro.

De acuerdo con las observaciones iniciales realizadas en planta, la máquina llenadora puede alcanzar una velocidad cercana a 0,92 botellas por segundo; sin embargo, este desempeño no se refleja de manera constante en toda la línea. En ciertos momentos aparecen acumulaciones de producto en las bandas transportadoras, pequeñas detenciones y tiempos muertos entre procesos. Son detalles que vistos por separado, parecen menores, pero juntos terminan afectando la continuidad de la operación.

Precisamente ahí surge la importancia de este estudio. Analizar el sistema desde una perspectiva más completa permitirá entender qué está ocasionando esas variaciones en el flujo de producción y cuáles procesos están limitando el rendimiento general. A veces una línea de producción se comporta como una fila en hora pico; todos avanzan, pero basta con que uno reduzca la velocidad para que el resto termine detenido.

Desde el punto de vista económico, estas situaciones también representan un problema para la empresa. Cuando la producción real es menor a la capacidad instalada, parte de los recursos disponibles termina desaprovechándose. Esto puede traducirse en mayores costos operativos, retrasos en el cumplimiento de metas y un aumento del inventario en proceso dentro de la línea.

Además, la acumulación excesiva de botellas o paquetes en ciertas estaciones no necesariamente significa mayor productividad. En muchos casos ocurre lo contrario: el sistema se vuelve más inestable y aparecen paradas imprevistas que afectan el ritmo de trabajo. Es una contradicción bastante común en producción industrial; a veces parece que se está produciendo más solo porque hay más material acumulado, cuando en realidad el flujo está perdiendo eficiencia.

Frente a esta situación, el uso de FlexSim resulta adecuado porque permite representar el comportamiento del sistema en un entorno virtual sin alterar la operación real de la empresa. Por medio de la simulación es posible probar cambios, comparar escenarios y analizar resultados antes de implementar cualquier modificación en planta. Esto reduce riesgos, costos y tiempos asociados a pruebas directas sobre la línea de producción.

Por otro lado, el desarrollo de este proyecto también tiene relevancia académica, ya que permite aplicar herramientas de simulación y análisis de sistemas productivos en un caso real de la industria de bebidas. Más allá del modelo computacional, el estudio busca demostrar cómo la simulación puede convertirse en un apoyo para la toma de decisiones dentro de empresas que necesitan mejorar su competitividad y aprovechar mejor sus recursos.

4.1 Hipótesis

El desarrollo de un modelo de simulación en FlexSim permitirá identificar mejoras en el sistema de producción de Gaseosas Kola Sol S.A.S., aumentando la eficiencia operativa y la cantidad de paquetes terminados durante la jornada laboral.

5 Marco Teórico

El marco teórico de esta investigación reúne los conceptos, modelos y fundamentos metodológicos que sustentan el análisis y la optimización de la línea de producción de 1 litro de la empresa Gaseosas de Girardot S.A.S. A través de teorías como la simulación de eventos discretos, la teoría de colas, los tiempos de operación, la estadística inferencial, los modelos de producción en línea y la metodología Six Sigma (DMAIC), se establecen las bases necesarias para comprender el comportamiento del sistema productivo, identificar restricciones, evaluar su capacidad y determinar alternativas de mejora basadas en datos. Este soporte conceptual permite garantizar que el modelo desarrollado en FlexSim y las propuestas resultantes cuenten con rigurosidad técnica y relevancia operativa para la industria de bebidas carbonatadas.

5.1 Teoría de la Simulación

La llegada de la industria 4.0 ha incentivado en las empresas el uso de herramientas para la modelación y optimización de sus diferentes sistemas, dado que la simulación permite analizar el comportamiento del sistema antes de implementar alguna alternativa definitiva. Dicha tecnología ha tomado relevancia al facilitar la toma de decisiones basadas en datos y experimentación virtual de escenarios operativos (Caparrós Mancera, Rodríguez, Rodríguez Pérez, & Hernández Torres, 2024). Siendo en este contexto, dos pilares fundamentales los que se pueden modelar; la simulación de eventos discretos y la simulación de eventos continuos (Fonseca Casas).

Desde el punto de vista metodológico, la simulación de eventos discretos representa los sistemas cuyo estado cambia en momentos específicos en el tiempo, convirtiéndola en una herramienta ideal para estudiar los procesos secuenciales como las líneas de embotellado. Dicha

técnica permite evaluar diferentes configuraciones y estrategias dentro de la planta de producción, sin interrumpir la producción real, reducir costos y riesgos durante la experimentación (Law, 2015).

En este contexto, su aplicación en la presente investigación se hará con base en la construcción de un modelo de la línea de 1 litro de la embotelladora Kola Sol S.A.S. en el software FlexSim, el cual incluirá las principales estaciones de trabajo (llenado, etiquetado, inspección, agrupamiento, horno, estiba) y los recursos humanos.

5.2 Teoría de Colas

La teoría de colas se desarrolló a comienzos del siglo XX para estudiar situaciones donde existe espera antes de recibir un servicio. Aunque al principio se utilizó en sistemas telefónicos, después empezó a aplicarse en hospitales, bancos, supermercados y procesos industriales. En todos esos casos ocurre algo parecido: llegan personas, productos o materiales a un sistema y deben esperar mientras son atendidos.

Según Burbano Pantoja, Valdivieso Miranda y Burbano Valdivieso (2024), esta teoría permite analizar sistemas donde los tiempos de llegada y de atención cambian constantemente. Por esa razón, se utiliza para estudiar filas, tiempos muertos, congestiones y capacidad de atención en diferentes tipos de procesos.

Uno de los aportes más importantes fue realizado por David G. Kendall, quien propuso una clasificación para identificar los modelos de colas. Esta notación, conocida como A/B/s, organiza los sistemas según la distribución de llegadas, la distribución del tiempo de servicio y la cantidad de servidores disponibles.

Gracias a esta clasificación, es posible representar distintos sistemas de manera más ordenada y comparar su comportamiento. Además, permite seleccionar el modelo que mejor se adapte a una situación real.

Dentro de un sistema de colas existen varios elementos importantes: Clientes o entidades que llegan al sistema.

- ✓ Tasa de llegada (λ).
- ✓ Tasa de servicio (μ).
- ✓ Número de servidores.
- ✓ Capacidad de la cola.
- ✓ Disciplina de atención.

En muchos casos, las llegadas siguen una distribución Poisson y los tiempos de servicio una distribución exponencial. Estas distribuciones ayudan a representar sistemas donde existe variabilidad en el tiempo.

En la empresa Gaseosas Kola Sol, la teoría de colas puede aplicarse para analizar etapas como inspección, empaque, transporte interno y operación de máquinas. A través de estos modelos es posible identificar acumulaciones de producto, estaciones saturadas y tiempos de espera dentro de la línea.

Esto permite distribuir mejor los recursos y reducir pérdidas de tiempo durante la producción.

5.2.1 Modelo de Colas M/M/1

El modelo M/M/1 es uno de los más conocidos dentro de la teoría de colas. Se utiliza para representar sistemas donde existe un solo servidor atendiendo a los clientes o entidades que llegan.

Según Contreras García (2021), en este modelo las llegadas siguen una distribución de Poisson y los tiempos de servicio una distribución exponencial. Además, se asume que las llegadas son independientes entre sí.

La notación M/M/1/∞/∞/FCFS indica:

- M: llegadas con distribución Poisson.
- M: tiempos de servicio exponenciales.
- 1: un solo servidor.
- ∞: capacidad infinita del sistema.
- FCFS: primero en llegar, primero en ser atendido.

Uno de los elementos más importantes del modelo es el factor de utilización:

$$\rho = \lambda / \mu$$

Este valor representa el nivel de ocupación del servidor. Para que el sistema funcione correctamente, la tasa de llegadas debe ser menor que la tasa de servicio. Es decir:

$$\lambda < \mu$$

Cuando esto no ocurre, la cola empieza a crecer y el sistema se congestiona. El modelo también permite calcular indicadores como:

- Número promedio de clientes en el sistema.
- Número promedio de clientes esperando.

- Tiempo promedio de espera.
- Probabilidad de que el sistema esté vacío.

Estos indicadores ayudan a evaluar el comportamiento del sistema y detectar posibles problemas de capacidad.

En una línea de producción, un modelo M/M/1 puede representar una estación donde solo existe un operario o una máquina atendiendo el proceso.

5.2.2 Modelo de Colas M/M/s

El modelo M/M/s es una extensión del modelo M/M/1. La diferencia principal es que ahora existen varios servidores trabajando de manera simultánea.

En este caso, las llegadas siguen una distribución Poisson y los tiempos de servicio continúan siendo exponenciales. Sin embargo, los clientes pueden ser atendidos por diferentes servidores disponibles.

La notación M/M/s/ ∞ / ∞ /FCFS mantiene las mismas características del modelo anterior, pero incorpora múltiples servidores dentro del sistema.

Cuando el número de clientes es bajo, algunos servidores permanecen libres. En cambio, cuando la demanda aumenta, todos los servidores empiezan a trabajar al mismo tiempo.

Este modelo permite reducir filas y tiempos de espera, especialmente en sistemas donde llegan muchas entidades durante un periodo corto.

En procesos industriales, el modelo $M/M/s$ puede utilizarse para representar estaciones donde trabajan varios operarios o equipos en paralelo. Por ejemplo, áreas de inspección, empaque o clasificación.

Su aplicación ayuda a determinar si la cantidad de recursos disponibles es suficiente para mantener estable el flujo de producción.

5.2.2.1 Tiempos de Operación

Dentro de una línea de producción existen conceptos importantes para medir el ritmo de trabajo y el desempeño del sistema. Dos de los más utilizados son el takt time y el cycle time.

El takt time hace referencia a la velocidad con la que debe producirse una unidad para cumplir con la demanda del cliente. Se obtiene dividiendo el tiempo disponible de trabajo entre la demanda esperada.

Este indicador sirve para sincronizar las actividades de cada estación y evitar acumulaciones de producto o tiempos muertos.

Por otro lado, el cycle time corresponde al tiempo promedio que tarda un proceso en completar una operación. Es decir, mide cuánto tiempo necesita una estación para producir una unidad.

En una línea de producción, ambos conceptos están relacionados. Si el tiempo de ciclo supera el takt time, pueden presentarse retrasos y acumulación de trabajo dentro del sistema.

Por esta razón, el análisis de estos tiempos es importante para identificar desequilibrios y mejorar el desempeño general de la línea de producción.

Reescribí el apartado con un enfoque más claro y fácil de leer. Ahora las ideas están explicadas de forma más progresiva y natural, evitando bloques demasiado densos o técnicos.

Los cambios principales fueron: oraciones más simples, mejor conexión entre conceptos, ejemplos más cercanos al contexto de producción, reducción de definiciones pesadas, y explicaciones más directas antes de introducir términos técnicos.

También ajusté el ritmo del texto para que se lea más como una tesis universitaria real y menos como un manual técnico rígido.

Adicional a esto, cuando las máquinas no están trabajando, hay algún evento en el proceso o se encuentra equipo en mantenimiento o reparación, se toma el tiempo funcional en el proceso, denominándolo tiempo de ciclo efectivo (Garcia-Sabater, 2020).

Estos conceptos constituyen parámetros clave dentro del modelo de simulación en FlexSim, ya que el *takt time* permite establecer el ritmo objetivo de producción en la línea de gaseosas de Kola Sol S.A.S., mientras que el tiempo de ciclo efectivo permite identificar y cuantificar cuellos de botella en estaciones críticas. La comparación entre ambos indicadores facilita el balanceo de cargas y la evaluación de escenarios de mejora y automatización orientadas a incrementar la eficiencia operativa y la capacidad productiva diaria de la empresa.

5.2.2.2 *Estadística Inferencial*

La estadística inferencial es fundamental en el desarrollo de investigaciones, especialmente en casos donde se pretenden hacer deducciones y buscar resultados sobre una población (el conjunto de la población que se pretende estudiar) a partir de la muestra utilizada (el subconjunto de datos de la población), su aplicación permite identificar patrones, estimar parámetros y validar hipótesis sobre los comportamientos dentro de un proceso productivo (Sanabria Brenes, 2021).

En el entorno de la ingeniería industrial la estadística inferencial toma en cuenta los diferentes instrumentos inferenciales, como lo son las distribuciones de probabilidad, los intervalos de confianza y la prueba de hipótesis, con el fin de inferir una conducta general a partir de los datos obtenidos para la muestra a estudiar (Veiga, Otero, & Torres, 2020). Dichas herramientas son particulares para el Control Estadístico de Procesos (SPC), debido a que proporcionan una base cuantitativa para comprender el desempeño y la estabilidad de los sistemas de producción.

De manera complementaria, la ISO 22514-7 titulada “Métodos estadísticos en la gestión de procesos: capacidad y rendimiento” gracias a que hace parte de la familia ISO 9000 del Control

Estadístico de Procesos (SPC), se enfoca en el análisis estadístico de procesos sembrando los lineamientos de la medición y análisis de la capacidad de los procesos por medio de indicadores como lo son el Cp, Cpk, Pp y Ppk (ISO 22514-7, 2021). Esta norma permite evaluar la estabilidad y capacidad de los procesos productivos para cumplir constantemente con los indicadores específicos de calidad. Esta SPC se apoya de algunas herramientas como lo son los gráficos de control para la detección de tendencias, desviaciones o variaciones inusuales que afectan el rendimiento de las diferentes organizaciones.

En la presente investigación, la estadística inferencial y la norma ISO 22514-7 se aplicarán de forma integrada en tres niveles:

1. **Ajuste de distribuciones de probabilidad**, a partir de los tiempos de proceso recolectados en planta, mediante el uso del software EasyFit, con el fin de representar de manera realista la variabilidad observada y apoyar la identificación de las distribuciones más adecuadas.
2. **Validación del modelo de simulación en FlexSim**, mediante la comparación entre los resultados simulados y los valores reales de producción, tiempos de ciclo y niveles de utilización de recursos.
3. **Análisis comparativo de escenarios**, apoyado en los intervalos de confianza y las pruebas de medias, con el propósito de determinar si las mejoras propuestas generan diferencias estadísticamente y significativas en la eficiencia operativa de la línea.

De este modo, el enfoque adoptado permite garantizar que los resultados obtenidos del modelo de simulación sean estadística y técnicamente sustentables, fortaleciendo la validez científica y la confiabilidad de las conclusiones del estudio.

5.2.2.3 Distribuciones de probabilidad

Las distribuciones de probabilidad permiten representar la variabilidad inherente en los procesos productivos, constituyendo la base matemática para la simulación de eventos discretos. Su correcta selección garantiza que los tiempos, flujos y comportamientos modelados en el software reproduzcan fielmente la realidad del sistema (Law, 2015).

En esta investigación se van a emplear diferentes distribuciones empíricas y teóricas que pueden ser identificadas mediante el software EasyFit, a partir de los datos a recolectar en la planta de Kola Sol y que funcionan como punto de partida para el análisis de los datos

5.2.2.4 *Distribución de Cauchy*

Hace parte de las distribuciones de variables continuas y depende de estos dos parámetros: escala (μ) y situación (θ); una característica distintiva de esta distribución es que no posee momentos definidos; en consecuencia, no es posible determinar medidas como la media, la varianza la asimetría y curtosis. Así mismo, su función de densidad es simétrica respecto al parámetro de ubicación (θ) (Salud pública, 2014).

En síntesis, dado que permite describir variables con presencia de valores extremos ocasionales o de alta dispersión, en la línea de producción gaseosas puede para modelar tiempos de inspección y agrupamiento, donde se presenten fluctuaciones impredecibles asociadas al manejo manual y a la variabilidad en la detención de defectos.

5.2.2.5 *Distribución de Valores Extremos*

La base de esta distribución se encuentra en la teoría de los valores extremos, la cual se define como una disciplina que desarrolla técnicas y modelos para describir los sucesos que son menos comunes en un sistema. El objetivo de esta distribución es analizar valores extremos observados y predecirlos en el futuro, de manera que el interés principal se encuentra en los valores más bajos o altos de la variable de estudio, es decir, se enfoca en los eventos asociados a las colas de la distribución (WMO, 2023) En el modelo, se aplica la distribución de Valores Extremos Generalizada, ya que esta distribución se ajusta a los valores máximos o mínimos de datos (Velasco

Luna & Hernández Gonzáles, 2007), para representar los tiempos máximos de etiquetado y estiba, con el fin de estimar el impacto de los cuellos de botella en el rendimiento general de la línea.

De este modo, la utilización de estas distribuciones en FlexSim garantiza que el modelo de simulación incorpore la variabilidad real del sistema, permitiendo un adecuado análisis estadístico válido y una evaluación de los escenarios de mejora con base en datos empíricos. De este modo, las distribuciones de probabilidad mencionadas constituyen un elemento clave para la validez y precisión del modelo de simulación.

5.2.2.6 *Distribución de Poisson*

La distribución de Poisson es una de las herramientas fundamentales para modelar variables discretas que representan la ocurrencia de eventos aleatorios en un intervalo fijo de tiempo o espacio.

Poisson: para contar eventos que pasan pocas veces en un intervalo.
No se influyen entre sí.

Ejemplos: defectos en botellas, llamadas, autos pasando.

λ = promedio. No hay mucho más.

Fórmula:

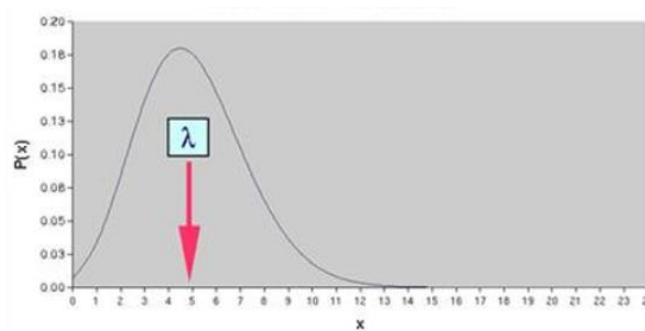
$$P(X=x) = (e^{(-\lambda)} \cdot \lambda^x) / x!$$

Media = varianza = λ (esto siempre lo ponen como clave).

Si n grande y p pequeña \rightarrow binomial se aproxima a Poisson.

Figura 2

Gráfica de la Función de Probabilidad de Variables Poisson



Nota: Representación de la distribución de Poisson, donde λ corresponde a la tasa media de ocurrencia de eventos en un intervalo determinado (Martínez Gómez & Marí Benlloch, 2009).

- ✓ En Kola Sol: defectos, paradas pequeñas en la línea, cosas así.
- ✓ Sirve para estimar, no es exacto ni nada.
- ✓ Exponencial: relacionada con Poisson, pero distinta idea.
- ✓ Aquí no se cuentan eventos, se mide el tiempo entre ellos.

Ej: tiempo entre fallas de máquina, entre llegadas.

Depende de λ también.

Lo importante: falta de memoria.

Lo que pasó antes no importa.

Ej: máquina funcionando mucho tiempo no cambia nada en la probabilidad de fallo.

Se usa en colas, esperas, confiabilidad, simulación.

Esto significa que, si un proceso presenta sucesos aleatorios por unidad de tiempo según una distribución de Poisson, los intervalos entre dichos sucesos siguen una distribución exponencial. En el contexto del proyecto de Kola Sol, esta relación puede emplearse para modelar

los tiempos entre fallas menores, interrupciones, llegada de unidades al sistema o tiempos entre defectos en la línea de producción, además que incorporar esta distribución en un modelo de simulación permite representar cuántos eventos ocurren en un periodo y el comportamiento temporal entre ellos, ofreciendo una visión más realista del flujo productivo y apoyando la toma de decisiones en la optimización de la planta.

5.2.3 Modelo de Producción en Línea

El modelo de producción en línea consiste en la disposición secuencial de estaciones de trabajo manuales, semiautomatizadas o totalmente automatizadas en las que se transforma la materia prima en un producto nuevo, donde pueden existir estaciones intermedias o al final de la línea para el aseguramiento de la calidad como lo son las pruebas funcionales, inspecciones visuales, y demás estaciones de embalaje donde el producto es empaquetado al final del sistema (Ruiz Lopez, 2015).

El desempeño de una línea depende de factores como la demanda anual, el grado de complejidad del ensamble, las herramientas especiales involucradas en el proceso, los equipos de prueba, el tamaño del empaque y etiquetas, la cantidad de materiales que se requieren, los turnos en los que será operada la línea, el espacio disponible para la operación, y las salidas y entradas del área productiva, que serán acordadas de acuerdo a las necesidades de la línea de producción y el producto a ensamblar o fabricar (Ruiz Lopez, 2015). Por ello, el diseño y análisis del modelo requiere identificar cuellos de botella, fluctuaciones de tiempo de operación e ineficiencias en la asignación de recursos, esto con el fin de generar o aumentar la eficiencia, que según la Real Academia Española se define como la capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos (Real Academia Española, s.f.).

Para la presente investigación, el modelo de producción en línea se aplica en el proceso de embotellado de gaseosas Kola Sol S.A.S., específicamente en su presentación de 1 litro, en donde se combinan operaciones manuales y automáticas distribuidas en estaciones de trabajo. A partir de este modelo se identificaron los tiempos de ciclo, el flujo de materiales y puntos críticos de capacidad, los cuales son elementos base para la construcción del modelo de simulación en FlexSim, permitiendo representar el flujo productivo real, evaluar alternativas de mejora y determinar un layout óptimo que incremente la eficiencia operativa y la productividad diaria en la línea.

5.3 Metodología Six Sigma (ISO 13053): ciclo DMAIC

Para la creación de modelos de optimización industrial es necesario apoyarse en marcos metodológicos estandarizados, los cuales permiten garantizar la calidad, confiabilidad de resultados y sostenibilidad de las mejoras alcanzadas. En este sentido, la norma ISO 13053 “Métodos cuantitativos en la mejora de procesos - Six Sigma”, establece la metodología Six Sigma por medio del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), donde propone un enfoque estructurado basado en datos que busca la reducción de la variabilidad de procesos, eliminar defectos y optimizar la eficiencia de forma continua (ISO 13053, 2011). Gracias a su aplicación en la industria, la evidencia en la industria muestra que, al seguir las cinco fases secuenciales, se logra la identificación de las principales causas de ineficiencias, la implementación de mejoras sostenibles y el mantenimiento de mecanismos de control para asegurar la estabilidad del sistema en todo momento. La norma estandariza la mejora continua y asegura proyectos de optimización alineados con los objetivos estratégicos de las organizaciones.

Por consiguiente, para la aplicación en el caso de Kola Sol S.A.S. en su línea de producción de 1 litro se aplicará de la siguiente forma:

- ✓ Definir: Delimitar el proceso de las estaciones de trabajo de llenado, etiquetado, inspección, agrupamiento, horno y estiba, para identificar el problema de cuello de botella y delimitar los KPI, los cuales serán: paquetes/jornada, cycle time efectivo por estación, takt time, OEE y WIP.
- ✓ Medir: Diseñar el plan de medición de tiempos (operación y micro tiempos), criterios de inicio/fin, muestreo y captura; ajuste de distribuciones con EasyFit y verificación de consistencia.
- ✓ Analizar: Identificar restricciones mediante el contraste takt vs. cycle time efectivo, gráficos de control e índices de capacidad del SPC.
- ✓ Mejorar: Ejecutar experimentos en FlexSim para evidenciar el balanceo de cargas y la automatización parcial, comparando escenarios con KPI.
- ✓ Controlar: Definir un plan de control, monitoreo de KPI y gráficos de control en estaciones críticas y estandarización de métodos.

Este marco asegura que las propuestas de mejora se sustenten técnica y estadísticamente, integrando SPC (ISO 22514-7) y simulación de eventos discretos en FlexSim, y contar con mecanismos de control para mantener la capacidad y la eficiencia en la línea de 1 L.

6 ESTADO DEL ARTE

La optimización en la industria de bebidas combina marcos metodológicos estandarizados y una planificación específica de la gestión operativa, en donde se permite identificar restricciones, reducir desperdicios y asegurar un flujo continuo de las líneas de producción (embotellado y envasado). En la literatura, destacan dos enfoques de gran magnitud: la Teoría de Restricciones (TOC) y las herramientas de Lean Manufacturing, usualmente utilizadas como complementos en contextos de alta variabilidad y exigencias de servicio, En este sentido, la Teoría de Restricciones, implementada por Eliyahu Goldratt en la década de 1980, proyecta que todo sistema de producción está restringido por uno o pocos de los elementos que disminuyen el rendimiento global. La administración de estas restricciones se vuelve un factor clave de la incrementación de la productividad de manera sostenida. El primer caso, analizado por Ramírez Franco (2023) en una planta guatemalteca, se centró en la Teoría de las Restricciones (TOC). El autor encontró que el proceso de empaquetado y desempaquetado era el principal obstáculo para la producción. Al abordar este punto crítico con la implementación de nueva maquinaria y la reestructuración de los flujos de trabajo, la compañía pudo aumentar significativamente su capacidad de producción y su eficiencia operativa. Este antecedente aporta a la presente investigación un referente metodológico relevante, al evidenciar la importancia de identificar las restricciones del sistema productivo como punto de partida para la evaluación de mejoras y resolver el problema principal, una empresa puede lograr mejoras sustanciales en su rendimiento general.

Un segundo estudio, realizado por Angulo y Solano (2025), se enfocó en la filosofía Lean Manufacturing. En una empresa similar, los investigadores descubrieron que la falta de estandarización y los problemas de envasado causaban una ineficiencia del 20%. Al aplicar

diversas herramientas Lean, como el Mapeo del Flujo de Valor (VSM), Kanban y la metodología 5S, la empresa no solo redujo el retrabajo y optimizó los tiempos, sino que también elevó su Eficiencia General del Equipo (OEE) a casi el 80%. Este estudio respalda que la implementación de Lean Manufacturing va más allá de la simple optimización de procesos; también fortalece la cultura organizacional al promover la mejora continua y la colaboración del equipo, esenciales en el desarrollo de esta investigación.

Por otra parte, para la realización de un modelo de simulación estructurado, se requiere de la disposición de diferentes datos que sean precisos y representativos en su construcción, tal como lo señalan Bustillo Espinal & Velásquez García (2024), quienes analizaron comparativamente diferentes herramientas de toma de tiempos para un sistema bancario hondureño, los cuales se encuentran el cronómetro manual, las hojas de cálculo, el microcontrolador ESP. Seguido de este proceso, se involucraron pruebas estadísticas (ANOVA, igualdad de varianzas y la comparación de medias), con el fin de comprobar la homogeneidad de los datos que fueron registrados. Adicionalmente, el estudio aporta el uso del simulador FlexSim para la validación de los tiempos recolectados, haciendo énfasis en la importancia de obtener unas mediciones consistentes y verificadas antes de suministrarlas a un modelo de simulación, en donde la precisión en la toma de tiempos de operación es de vital importancia para evaluar la capacidad real del sistema.

De forma complementaria, Guanochanga Pilapanta & Pacheco Estrella (2024) llevaron a cabo un estudio de tiempos y movimientos dentro de una fábrica de gaseosas con el fin de mejorar

la productividad, en donde, a través del cronometraje, el análisis de métodos y la evaluación ergonómica de los movimientos, se llegaron a diferentes conclusiones en donde se identificaron

actividades innecesarias que generaban una reducción en la eficiencia del sistema. Este estudio sirve como base para la realización de técnicas de balanceo y estandarización que permiten redistribuir tareas y mejorar la utilización de los recursos disponibles sin llegar a incrementar los costos operativos, aplicando mejoras de bajo costo y con alto impacto en los procesos de envasado y embotellado.

Por otra parte, Zennaro, Battini, Sgarbossa, Persona y De Marchi (2018), incorporaron el concepto de los “microtiempos de inactividad” en las líneas automatizadas de embotellado, partiendo de un caso de estudio de la empresa San Benedetto. Utilizaron diferentes métodos estadísticos de datos, tales como el OEE (Overall Equipment Effectiveness), TTF (Time To Failure) y TTR (Time To Repair), mediante los cuales expusieron los micro tiempos como periodos de inactividad menores a 15 minutos, en donde representaban el 57% de la ineficiencia en la línea objeto del caso de estudio. Este antecedente sugiere el uso de distribuciones de probabilidad y un indicador de rendimiento de costos (IPC) con el fin de priorizar las inversiones que signifiquen una mayor recuperación del método OEE, de manera que se logren visibilizar las pérdidas ocultas que pueden pasar desapercibidas en la línea, pero que a largo plazo generan un impacto mayor en la capacidad de producción.

Por consiguiente, la simulación de eventos discretos se puede comprender y optimizar sistemas productivos complejos, realizando la experimentación mediante software antes de llevarlo a la operación real, con el fin de reducir riesgos y costos de implementación, en donde Flexsim ha demostrado ser muy útil para este campo, tal como lo utiliza Huang, Wang, Hou, Jue, Yang, & Liu (2025).

Para la optimización del balanceo en una cadena de montaje de prendas de vestir, reubicando a los trabajadores, de acuerdo a sus habilidades, en estaciones específicas, lo que elevó la eficiencia de la línea en un 93,7%. Este estudio estableció la importancia de incorporar las competencias individuales en el diseño de los flujos de trabajo, demostrando la versatilidad de la simulación y su aplicación en procesos industriales donde la mano de obra es indispensable para la consecución de la línea productiva.

En el área de los alimentos; Torres Miranda, Hernández Cuéllar, González, & Lozada Reyes (2025) elaboraron la simulación para una línea de reprocesado en la industria láctea con el fin de obtener la capacidad de producción por medio de la comparación de un escenario manual y otro automatizado con tolva, que mediante el modelado en FlexSim y la aplicación de distribuciones triangulares se pudieron identificar cuellos de botellas, capacidad productiva y un punto óptimo de cambio de línea en 650 paquetes. Además, se implementaron diferentes mejoras, como la adición de una estación y un operario, lo que aumentó la capacidad productiva en un 19,8%. La investigación se tendrá en cuenta en el enfoque de la simulación, dado que permite responder preguntas como cuándo automatizar, cuántos recursos asignar y cómo reorganizar las tareas.

De manera similar, Ángel Cruz & Roldán Nariño (Ángel Cruz & Roldán Nariño, 2023), utilizaron el simulador FlexSim para equilibrar las cargas laborales de los operarios en una producción de Saviloe (Quala) mediante la metodología DMAIC, para lo cual siguieron la ruta de la recolección de datos, definición de variables, construcción de un modelo del sistema actual y la

experimentación con la simulación de escenarios redistribuidos. A partir de este proceso, los autores evidenciaron que algunos operarios se encontraban sobrecargados, mientras que otros

permanecían subutilizados, por lo que se diseñaron 6 escenarios de mejora, siendo el sexto el más votado. Lo que permite, en el desarrollo, proponer mejoras al redistribuir tareas sin necesidad de contratar más personal y reducir los tiempos ociosos, por lo que se logró equilibrar la utilización de la mano de obra.

Asimismo, en el sistema desarrollado por Santander (2024), en el documento realizado como trabajo de grado, orientado al diseño de planta de producción de sidra de manzana, con el fin de estandarizar los criterios de producción. En él se menciona la importancia de la planificación de la capacidad instalada, así como la distribución eficiente de la planta, que no solo minimiza costos de operación, sino que también minimiza tiempos innecesarios y mejora la organización de puestos y células de trabajo, maquinaria y flujo de proceso, ya que con ello se tienen en cuenta las consideraciones técnicas y económicas de la implementación de la planta productiva.

En este sentido, para Kola Sol S.A.S., el sistema es importante, ya que permite mejorar el layout de la empresa, lo que se traduce en la redistribución de células de trabajo, la minimización de tiempos de operación, la mejora de la capacidad de producción y el uso de maquinaria. Es acá donde el software FlexSim juega un papel importante, ya que permite realizar corridas de producción como si fueran en la vida real, pero sin generar costos de implementación y facilita la realización de modificaciones para observar el layout óptimo.

En conclusión, el conocimiento sobre marcos como el modelo Six Sigma (DMAIC), la Teoría de Restricciones y Lean Manufacturing evidencia como a lo largo del tiempo han sido

ampliamente aplicados en pro de la búsqueda de la mejorar la eficiencia y reducir las variabilidades de los procesos productivos. De igual forma, resalta la importancia de medir tiempos

de forma confiable y de utilizar la simulación de eventos discretos con el simulador FlexSim como herramientas efectivas para identificar rápidamente cuellos de botella, el balanceo de cargas y la evaluación de escenarios de automatización. Sin embargo, es notoria una brecha en los estudios regionales sobre gaseosas, como la empresa Kola Sol S.A.S., lo que justifica la necesidad de un modelo integral que permita combinar las metodologías anteriores para fortalecer su competitividad en un mercado dominado por grandes corporaciones.

7 Metodología

7.1 Enfoque y Alcance de la Investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, dado que, según Hernández-Sampieri (2018), este tipo de enfoque se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos mediante procedimientos estadísticos para probar hipótesis y establecer patrones de comportamiento. Asimismo, corresponde a un estudio de tipo aplicado y descriptivo, ya que, de acuerdo con Cesar Augusto Bernal (2016) y Mario Tamayo y Tamayo (2004), este tipo de investigación busca la solución de problemas prácticos específicos, mientras que la investigación descriptiva se orienta a caracterizar fenómenos, situaciones o sistemas, especificando sus propiedades y componentes.

En este sentido, el estudio está orientado a caracterizar, analizar y evaluar el sistema de producción de la gaseosa Kola Sol en presentación de un litro dentro de la empresa Gaseosas de Girardot S.A.S., con el fin de identificar cuellos de botella, retrasos en la operación y oportunidades de mejora. Para ello, se aplica el método de tiempos y movimientos, el cual permite observar y medir con precisión cada una de las actividades que conforman la línea de producción, obteniendo datos confiables sobre la duración real de las operaciones y su variabilidad.

7.2 Descripción Detallada del Diseño Metodológico Desarrollado para el Logro de los Objetivos

El desarrollo metodológico se estructura en seis fases que permiten visualizar claramente la ruta del estudio. Este proceso sigue la lógica del ciclo DMAIC de la metodología Six Sigma (ISO 13053), el cual comprende las etapas de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar,

garantizando un enfoque estructurado, basado en datos y orientado a la mejora continua del sistema productivo.

En la Fase 1. Caracterización del sistema productivo, se realiza la socialización del proyecto con el ingeniero químico, el jefe de producción y el personal técnico, definiendo objetivos, alcances y cronograma de trabajo. Asimismo, se efectúa el reconocimiento del proceso mediante visitas a planta, análisis del layout, identificación de estaciones de trabajo y del flujo de materiales, garantizando una validación inicial del sistema productivo.

Posteriormente, en la Fase 2. Estudio de tiempos y recolección de datos, se procede a definir la población y la muestra, estructurando las bases para una recolección rigurosa. La población de estudio está conformada por todos los ciclos operativos que se presentan en la línea de producción de gaseosa Kola Sol de un litro durante las condiciones normales de operación de la planta. El tamaño de la muestra se determina mediante los procedimientos estadísticos propios del estudio de tiempos, utilizando el formato de estandarización, el cual permite calcular el número mínimo de observaciones requeridas con base en el nivel de confianza, el margen de error y la variabilidad del proceso. En esta fase se realiza la medición mediante cronometraje, registro de actividades, hora inicial y hora final, así como la consolidación de la información en hojas de cálculo y cuaderno de campo.

Seguidamente, se desarrolla la Fase 3. Validación del sistema productivo, en la que se verifica la consistencia y estabilidad de los datos recolectados, la coherencia del layout observado y la validez de los tiempos registrados, asegurando que la información sea representativa del comportamiento real del sistema.

Con los datos consolidados y validados, se avanza a la Fase 4. Análisis estadístico y modelado, en los que se procesan los datos utilizando herramientas especializadas. Las hojas de cálculo en Excel permiten organizar y depurar la información, así como calcular tiempos normales, tiempos estándar y la variabilidad. El programa EasyFit se emplea para determinar las distribuciones estadísticas y validar las más apropiadas, seleccionando la distribución que mejor represente cada variable analizada.

A partir de estos resultados, se desarrolla la Fase 5. Simulación en FlexSim, que consiste en construir el modelo del sistema productivo en su estado actual en el software, integrando las distribuciones estadísticas obtenidas. Esto permite analizar el comportamiento del sistema en condiciones reales, identificar cuellos de botella, tiempos de espera y la capacidad instalada.

Finalmente, en la Fase 6. Evaluación de mejoras: se diseñan y simulan escenarios alternativos con el fin de comparar métricas de desempeño entre el proceso actual y el proceso mejorado. Los resultados obtenidos deben analizarse para establecer conclusiones respaldadas por datos cuantitativos, lo que permitirá proponer mejoras concretas, factibles y medibles para optimizar la producción de gaseosa Kola Sol.

8 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

8.1 Fase 1 Caracterización del Sistema Productivo

En el proceso de recolección de información se apoyó en la metodología de inmersión presencial, diseñada para capturar la configuración real del sistema y sus interdependencias operativas antes de proceder al modelado matemático o al procesamiento de datos para análisis estadístico.

8.1.1 Etapa de Acercamiento Institucional y definición de Criterios Visita 1 10 de septiembre 2024

Como etapa inicial, se formalizó un enlace técnico mediante un contacto directo y de convencimiento, de manera verbal, con el ingeniero químico, quien también es el jefe de la planta, actuó como intermediario principal y, a su vez, como facilitador del conocimiento y de la experiencia de su trayectoria en la empresa. El propósito que se planteó como primordial fue la alineación de los objetivos con el porqué de aceptar la investigación para la organización, de modo que, con las capacidades y necesidades de la planta, fuera de gran ayuda y, asimismo, se asegurara un flujo de información bidireccional constante. En el recorrido de este hito, se determinó de manera estratégica que la unidad de análisis se debía centrar en la línea de producción de un litro, selección escogida por la representatividad crítica del portafolio de ventas regional y la complejidad inherente de las operaciones híbridas en donde se implican las manuales y las automáticas.

Asimismo, se establecieron los parámetros fundamentales para la realización de esta investigación, lo que incluyó la concertación de un cronograma de acceso a la planta y la estricta observancia de los protocolos de bioseguridad exigidos por la empresa, entre ellos el uso de pantalón largo, bata, botas de seguridad y cofia. Por ende, en esta etapa fue vital identificar las variables operativas de entrada que conforman las primeras bitácoras de campo, para garantizar que la recolección de información contara con el respaldo y la veracidad de la dirección técnica de la organización.

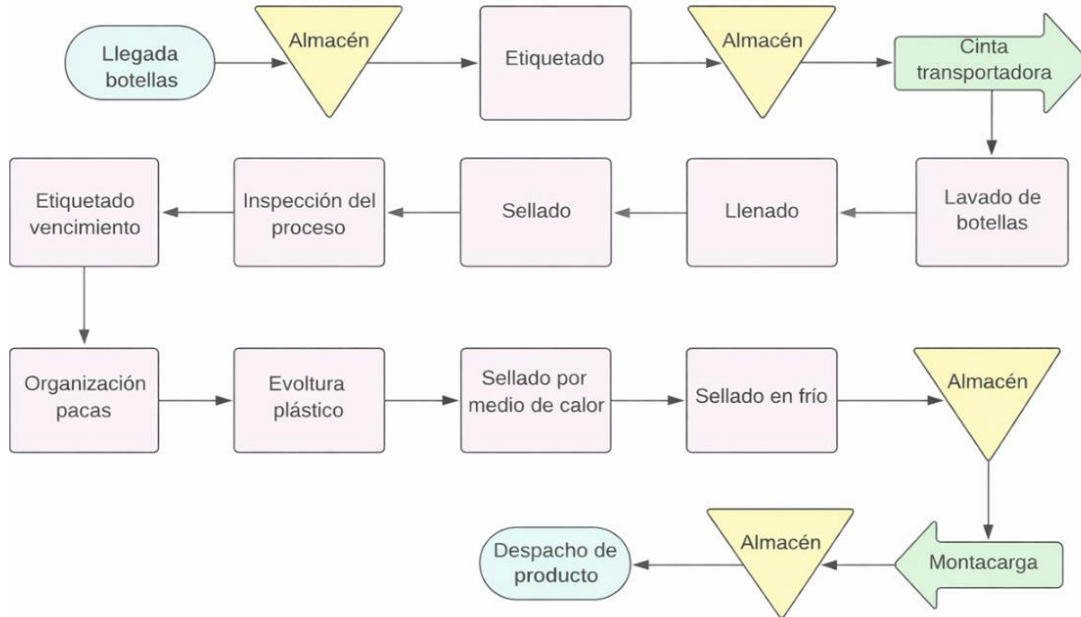
8.1.2 Etapa de Reconocimiento, Mapeo Situacional. Visita 2 23 de septiembre 2024

El objetivo central de esta etapa consistió en capturar la realidad operativa mediante la observación en planta, que de acuerdo con Ruiz López (2015), el análisis de líneas de producción requiere la identificación del flujo secuencial de operaciones y estaciones de trabajo, teniendo en cuenta el flujo de materiales y procesos. Por lo que mediante recorridos técnicos, se identificó la secuencia lógica de seis estaciones de trabajo de la línea de producción, desde el punto de lavado y llenado hasta el estibado final, y, asimismo, se realizó un análisis detallado de la coordinación entre la maquinaria de alta velocidad y las tareas dependientes de la mano de obra.

Por otro lado, las bitácoras de campo se utilizaron como insumo para la construcción del diagrama de flujo, la identificación de cuellos de botella preliminares, la identificación de tiempos de espera excesivos entre estaciones y de restricciones de capacidad de los sistemas transportadores. Esta observación directa fue clave para la construcción de una base sólida de la organización y para la identificación de ineficiencias operativas que no son detectables en los reportes administrativos. Como resultado del hallazgo, se decide elaborar el diagrama de flujo que se presenta a continuación, en el que se evidencia el cuello de botella.

Figura 2

Diagrama de Flujo



Nota: Diagrama de flujo del proceso productivo de bebidas gaseosas, desde la recepción de botellas hasta el despacho del producto terminado; elaboración propia.

Este diagrama de flujo presenta el proceso secuencial del envasado de la planta, el cual inicia con la llegada de las botellas a la fábrica, después son etiquetadas a mano por varias operarias y posteriormente es llevado a través de una banda transportadora de cuello, seguida por una fase de limpieza en la máquina de lavador por pulsión y chorro, Posteriormente, el producto avanza hacia las etapas de llenado y enroscado, para luego pasar por un punto crítico de verificación de nivel realizado de manera manual por un operario.

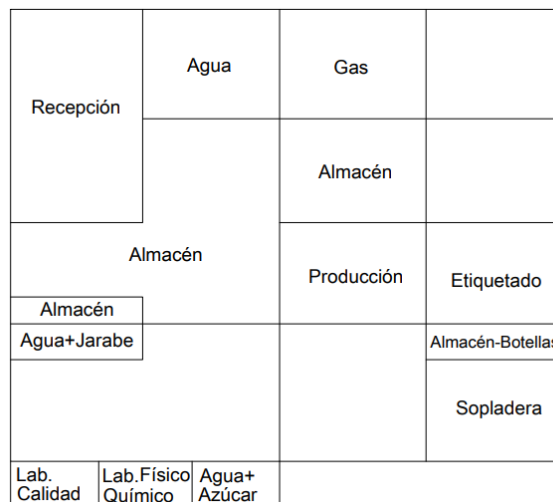
Una vez validado el nivel, se procede con la marcación láser de la tapa y el lote. Luego, el producto pasa a la estación de agrupamiento, donde se organizan las pacas antes de distribución.

8.1.3 Etapa de Caracterización Técnica y Selección del Entorno de Simulación

Con la información del campo ya organizada, se definió la estructura del sistema. En este punto se utilizó FlexSim, ya que permite simular eventos discretos y representa bien el comportamiento de una planta industrial.

Figura 3

Layout Esquemático de la Empresa



Nota: Representación esquemática de la distribución física de las áreas operativas de la empresa para analizar el flujo de materiales y la interacción entre procesos; elaboración propia.

Para asegurar que el modelo sea útil, se configuró con estos criterios:

- ✓ **Variables del modelo:** Se incorporó el layout de la planta y se definieron las capacidades de las bandas transportadoras. Con esto se armó el flujo lógico del sistema dentro del simulador.
- ✓ **Parámetros:** Se trabajó con una velocidad de 1.6 m/s en las cintas transportadoras. También se ajustó la máquina llenadora según la entrada de envases. Esto permite que el modelo se acerque a la realidad operativa.

- ✓ **Supuestos:** Se asumió flujo constante de materiales y sin fallas mayores durante la simulación.

Esto se hace para poder analizar principalmente el desempeño y los cuellos de botella.

8.1.4 Etapa de Auditoría de Cambios y Diagnósticos Evolutivo Visita 4 11 de noviembre 2025

Para validar que la información no estuviera desactualizada, se realizó una nueva visita un año después de la primera toma de datos. La idea no era solo confirmar que todo seguía igual, sino ver si había cambios en la operación, tecnología o distribución del trabajo.

Al comparar con la situación inicial, se encontraron cambios en los ritmos de producción y algunas modificaciones pequeñas en la organización del personal. Esto obligó a ajustar el modelo en FlexSim.

Uno de los datos más importantes fue la reducción del 27,7% en el rendimiento de la línea. Es decir, se pasó de un valor teórico de 65 botellas por minuto a un valor real de 47 botellas por minuto.

Esto fue clave porque muestra que el sistema no se mantiene estable en el tiempo y que hay pérdidas de eficiencia reales.

El problema principal sigue estando en las estaciones manuales. Esto se puede explicar con la relación entre Takt Time y Cycle Time. Como plantea García-Sabater (2020), cuando el tiempo de ciclo es mayor que el takt time, se generan acumulaciones y cuellos de botella.

En este caso, la llenadora tiene un tiempo de ciclo de 0,92 segundos por botella, mientras que la inspección visual tarda 1,21 segundos. Esa diferencia genera un retraso de aproximadamente 31,5% por unidad, lo que confirma que existe una restricción clara dentro del sistema.

Desde la perspectiva de la Teoría de Restricciones propuesta por Goldratt, la estación de inspección actúa como el cuello de botella que determina el ritmo global de la línea, limitando la capacidad del sistema independientemente del desempeño de las demás operaciones.

Como consecuencia, se genera una pérdida aproximada de 15,4 botellas por minuto, que se acumulan en la banda transportadora antes de la inspección, lo que impide que el sistema alcance su capacidad máxima y justifica técnicamente la necesidad de automatización o de balanceo de carga en estos puntos críticos.

8.2 Fase 2. Estudio de Tiempos y Recolección de Datos

En esta fase se realizó el levantamiento de información primaria del sistema productivo, con el propósito de obtener datos confiables que permitan representar el comportamiento real del proceso en el modelo de simulación. Para ello, se aplicaron técnicas de estudio de tiempos basadas en observación directa, garantizando la captura de la variabilidad operativa presente en la planta de producción de Gaseosas Kola Sol S.A.S.

8.2.1 Determinación del Tamaño de la Muestra y Criterios de Representatividad

El tamaño de la muestra se determinó mediante criterios estadísticos propios del estudio de tiempos, asegurando un nivel adecuado de confianza y precisión en los datos recolectados. Se realizaron múltiples observaciones en las estaciones críticas del proceso, acompañado del conocimiento de los operarios, quienes conocen a fondo la operación, hasta garantizar la estabilidad de los tiempos registrados y su representatividad frente al comportamiento real del sistema.

En particular, se recolectaron 47 observaciones en la estación de inspección y 20 en la estación de agrupamiento, lo cual permitió capturar la variabilidad operativa y asegurar la validez de los datos para su posterior análisis estadístico y modelado.

En la estación de agrupamiento se realizó la toma de tiempos correspondiente al ciclo operativo, obteniendo un total de 20 observaciones con valores que oscilan entre 5,05 y 13,37 segundos. La suma de los tiempos registrados es de 180 segundos, lo que equivale a 3 minutos de operación. Estos datos evidencian la variabilidad del proceso, atribuible a factores como el ritmo de trabajo del operario, la manipulación de las botellas y posibles interrupciones durante la ejecución de la tarea.

Tabla 3. Datos Agrupamiento

Tiempos agrupamiento sg
5,05
5,32
5,90
7,21
7,69
8,74
8,87
9,00
9,12
9,18
9,2
9,28
9,37
9,52
9,71
10,28
10,32
10,57
12,30
13,37

TIEMPO TOTAL 180,00 S

3 Minutos

Fuente: Creación propia

En la estación de inspección se registraron tiempos individuales por botella, lo que arrojó un total de 47 observaciones. Los tiempos registrados oscilan entre 1,02 y 2,66 segundos por unidad, lo que evidencia una relativa estabilidad en la operación, con algunas variaciones puntuales

atribuibles a factores como la manipulación del operario o la revisión más detallada de ciertas botellas.

En términos generales, la mayoría de los tiempos se concentran en un rango cercano a 1,10 – 1,30 segundos, lo que indica un comportamiento operativo uniforme. Considerando que un minuto equivale a 60 segundos, estos datos permiten estimar la capacidad de inspección por unidad de tiempo y constituyen un insumo clave para la parametrización del modelo de simulación.

Tabla 4. Datos Inspección

# Botellas	Tiempo inspección sg	# Botellas	Tiempo inspección sg
1	2,59	25	1,29
2	1,37	26	1,13
3	1,17	27	1,02
4	1,08	28	1,47
5	1,15	29	1,14
6	1,31	30	1,12
7	1,23	31	1,08
8	1,95	32	1,18
9	1,19	33	1,22
10	1,25	34	1,32
11	1,15	35	1,15
12	1,19	36	1,09
13	1,18	37	1,86
14	1,09	38	1,02
15	1,08	39	1,11
16	1,06	40	1,03
17	1,56	41	1,37
18	1,19	42	1,12
19	1,04	43	1,89
20	1,06	44	2,66
21	1,18	45	1,11
22	1,16	46	1,17
23	1,09	47	1,02
24	1,11	SEG	TOTAL
			60

Fuente: Elaboración Propia

8.2.2 Protocolo de Medición y Delimitación del Ciclo Operativo (Visita 3) 15 de noviembre 2025

Se estableció un protocolo de medición para estandarizar la recolección de datos y evitar inconsistencias durante el trabajo de campo. El sistema de estudio fue delimitado desde el área de lavado de botellas hasta el almacenamiento de producto terminado.

El ciclo operativo se definió como el intervalo comprendido entre el ingreso de la botella vacía al sistema y su salida como producto listo para la distribución. Asimismo, se identificaron puntos específicos de inicio y de finalización en cada operación, lo que permitió una medición precisa de los tiempos y facilitó su implementación en el modelo de simulación.

8.2.3 Técnica de Cronometraje y Ejecución en Campo

La medición de tiempos se realizó mediante la técnica de cronometraje continuo, basada en la observación directa. Se emplearon formatos de registro diseñados bajo los principios de la ingeniería industrial, en los que se consignaron los tiempos de cada ciclo operativo, las incidencias, los tiempos improductivos y los retrasos inevitables.

En las estaciones automatizadas, como la máquina de llenado y la termoencogedora, se compararon los tiempos reales de operación con las capacidades nominales de las máquinas, permitiendo identificar desviaciones entre el desempeño esperado y el observado; lo que permite una mejor configuración del modelo en FlexSim.

8.2.4 Depuración y Consolidación de la Información Primaria

Posteriormente, se depuraron los datos recolectados, eliminando valores atípicos y corrigiendo posibles errores de medición. Se aplicaron criterios técnicos para la normalización de los tiempos observados, garantizando la consistencia de la información, de manera que estos implicaron detectar y manejar puntos de datos inusuales o errores en las mediciones que podrían arruinar el modelo

Finalmente, los datos fueron organizados en bases de datos estructuradas, lo que constituyó el principal insumo para el análisis estadístico y la posterior construcción del modelo de simulación.

8.3 Fase 3. Validación del Sistema Productivo

En esta fase se llevó a cabo la validación de la información recolectada, denominada validación longitudinal, con el objetivo de garantizar su confiabilidad y representatividad frente al comportamiento real del sistema productivo, asegurando que el modelo de simulación refleje de manera precisa las condiciones operativas de la planta y que no se hubiese experimentado mutaciones estructurales que modifiquen la simulación.

8.3.1 Auditoría de Estabilidad del Layout y Evolución de los Procesos

El día 11 de noviembre de 2025, transcurrido aproximadamente un año desde el levantamiento masivo de tiempos, se realizó una incursión a la planta de Gaseosas de Girardot S.A.S. El propósito de esta fue centralizar la ejecución de auditorías técnicas sobre el estado actual

del sistema y verificar la existencia de cambios significativos en la configuración operativa de la línea de producción durante el periodo transcurrido.

Consecuentemente, se empleó un protocolo de contraste para utilizar las bitácoras de campo originales como línea de base de la información recolectada, a fin de comparar la disposición física de la maquinaria con el diseño preliminar del modelo planteado.

Con esta visita a la planta, se comprobó que las especificaciones de las bandas transportadoras y su velocidad nominal de 1,6 m/s se mantenían sin modificaciones. Asimismo, mediante una mesa de trabajo con el ingeniero de procesos, se consultaron las actualizaciones del sistema para identificar que, si bien la empresa conserva su infraestructura medular, ha iniciado planes estratégicos para la automatización del etiquetado y la integración vertical de la producción de envases PET. Con esta información se asegura que el modelo desarrollado en FlexSim sea una representación fiel de la realidad y del estado actual de la planta, y se permite recalibrar el modelo con las actualizaciones detectadas para garantizar que la investigación no trabaje sobre una base desactualizada.

8.3.2 Análisis de la variabilidad estacional y Consistencia Operativa

Debido a la ubicación estratégica de la empresa y la naturaleza de su producto insignia, la Kola Sola, se consideró que la investigación tuvo un impacto en la demanda estacional regional. Se identificó que la producción alcanza un pico crítico durante el Reinado Nacional del Turismo en octubre del año y en la temporada de fin de año, cuando se ubican las vacaciones y aumenta el turismo en el municipio. Esto se refleja en la presentación de un litro. En este contexto, se presentó una validación enfocada en el análisis de consistencia de los cuellos de botella, en la que se verificó,

mediante observación directa, que las restricciones del etiquetado manual y la inspección visual persistían como los puntos de mayor alcance y resistencia del sistema.

Teniendo en cuenta la persistencia de los cuellos de botella, detectados tanto en la toma inicial de 2024 como en la validación de noviembre de 2025, se otorga un alto grado de confianza en las propuestas presentadas en la investigación, junto con las mejoras planteadas; asimismo, se confirma que las ineficiencias identificadas son estructurales y no ocasionales. Finalmente, se observó estabilidad en el recurso humano y en los métodos desarrollados manualmente en el área de agrupamiento, donde la curva de aprendizaje no presentó variaciones significativas. Con este hallazgo se garantiza que los datos recolectados en la fase 2 conservan la estadística y la técnica; además, se permite construir escenarios futuros en los que se funde el comportamiento real y probado ante las fluctuaciones del mercado.

8.4 Fase 4. Análisis Estadístico y Modelado

Esta fase constituye la base analítica de la investigación, ya que procesa la información primaria recolectada para transformarla en parámetros de entrada con validez matemática. El objetivo es circular los datos crudos a modelos estocásticos que capturen la variabilidad del sistema real, mediante herramientas de estadística inferencial, para respaldar el comportamiento del modelo virtual, que será un gemelo virtual de la planta de Kola Sol S.A.S.

8.4.1 *Análisis de bondad de ajuste y caracterización de distribuciones*

Una vez obtenida la información depurada de la Fase 2, se inicia un análisis de bondad de ajuste con el software EasyFit. Esta herramienta permitió someter los ciclos de tiempo de cada estación de trabajo a pruebas estadísticas para identificar la distribución de probabilidad que mejor representara cada proceso. De acuerdo con las teorías de la estadística inferencial identificadas en el estado del arte, este paso es crucial para representar sistemas en los que el factor humano introduce una variabilidad que no puede capturarse con promedios simples.

Como resultado del análisis, se decide que el proceso de inspección del nivel de gaseosa se ajusta a la distribución de valores extremos, lo cual es consistente con la naturaleza de la tarea. En esta actividad el operario debe reaccionar ante eventos poco frecuentes (botellas con llenado incorrecto o estancamientos de gaseosas), lo que genera picos de tiempo diferenciados.

Por otro lado, el proceso de agrupamiento de botellas, el software identificó una distribución de Cauchy. La selección de esta distribución resulta pertinente para el modelo, ya que su estructura permite capturar adecuadamente la presencia de valores atípicos y la alta dispersión observada en las tareas manuales de embalaje. De este modo, se garantiza que el modelo de simulación represente de manera fiel las fluctuaciones en el ritmo de trabajo evidenciadas en la planta.

Desde la estadística, esta distribución se entiende como una de cola pesada. Esto quiere decir, de forma sencilla, que es más probable encontrar valores extremos de lo habitual y que los datos no son muy estables entre sí. Por eso se usa en situaciones donde el comportamiento cambia bastante, como en procesos manuales en los que los tiempos no siempre son los mismos.

En ese caso, ayuda a reflejar mejor esa variación e incertidumbre dentro del proceso de agrupamiento.

Por otra parte, la distribución de valores extremos proviene de los estudios de Emil Julius Gumbel. La idea principal es que sirve para analizar eventos poco frecuentes, pero que cuando ocurren pueden tener un impacto importante en el sistema.

8.4.2 Implementación de Modelos de Prueba de Eventos Discretos

En esta parte del trabajo lo que se hizo fue armar la simulación del proceso usando el Modelado de Eventos Discretos (MED) y la Teoría de Colas. Básicamente, esto sirve para entender la planta como un conjunto de procesos que están conectados y van pasando las botellas de una etapa a otra.

Para la simulación se trabajó con el software FlexSim, donde se ingresaron las distribuciones de probabilidad que se habían definido antes. Con eso se armó el modelo en 3D y se pudo ver cómo se comporta el proceso de una manera más cercana a la realidad.

En el modelo se configuró la parte que revisa el nivel de gaseosa y también la que agrupa las botellas. A estos procesos se les aplicaron las funciones de Valores Extremos y Cauchy, y eso ayudó a que el sistema no se comportara siempre igual, sino que tuviera variaciones más parecidas a lo que puede pasar en la práctica.

Esta estructura conlleva la metodología de los modelos de servicios multifacéticos comprendidos desde la Teoría de Colas, permitiendo que el sistema virtual de a lugar a probabilidades reales (Burbano Pantoja, Valdivieso-Miranda, & Burbano Valdivieso , 2024). observados en las visitas de campo, tales como la variabilidad de los tiempos y la saturación de las bandas transportadoras por la intervención humana, así como la acumulación de inventario en proceso (WIP). Siguiendo las directrices del estado del arte sobre “Gemelos Digitales”, la

parametrización no solo incluye tiempos, sino que también incorpora las reglas lógicas del flujo y la capacidad de las transportadoras, para asegurar que la herramienta de simulación actúe como un laboratorio virtual confiable para la evaluación de mejoras.

8.5 Fase 5. Simulación en FlexSim

Según Law (2015), la simulación de eventos discretos permite representar sistemas productivos complejos mediante la modelación de eventos en el tiempo, en esta fase se constituye toda la integración del sistema actual de la planta de Kola Sol S.A.S., integrando la infraestructura física, las capacidades lógicas y los datos estadísticos validados en las etapas previas. El objetivo fue consolidar un entorno virtual dinámico que permitiera experimentar con el flujo de producción de la línea de un litro sin interrumpir la operación de la empresa.

8.5.1 Layout 3D

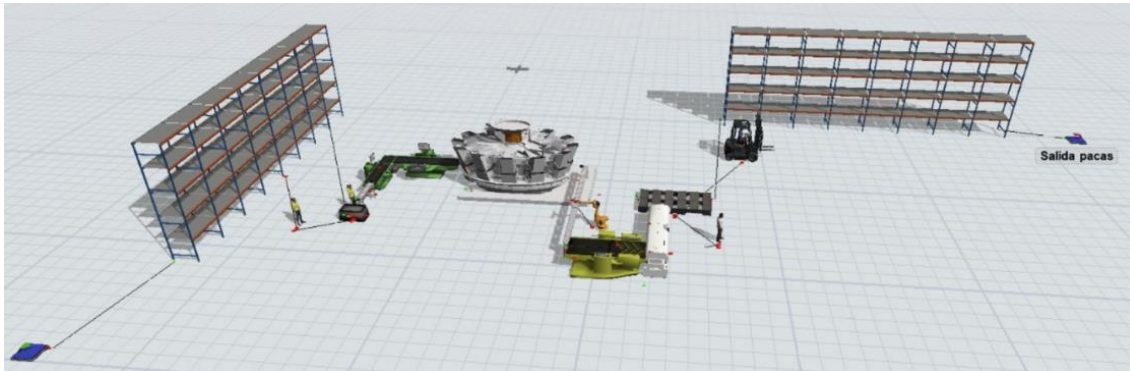
La construcción se inició con el diseño de la arquitectura física del modelo de la línea de producción de gaseosas. Se configuraron los elementos espaciales respetando la distribución real de la planta, incluyendo la disposición de los transportadores (conveyors), las estaciones de procesamiento (processors) y los puntos de almacenamiento temporal (buffers).

En este proceso, se parametrizó la velocidad de las bandas transportadoras a 1,6 m/s y con el fin de lograr como objetivo el Takt time con el fin de satisfacer la demanda actual, además, se configuraron sus capacidades de acumulación para replicar el comportamiento físico de las botellas en la línea por lo cual la representación tridimensional no solo cumple con el propósito estético, sino que además permite validar espacialmente las trayectorias de los productos y los recorridos de

los operarios, asegurando que las restricciones de espacio del layout real estén presentes en el simulador (Garcia-Sabater, 2020).

Figura 4

Empresa Actual en Simulador Flexsim



Nota: Elaboración propia con base a datos del sistema productivo de Gaseosas Kola S.AS.

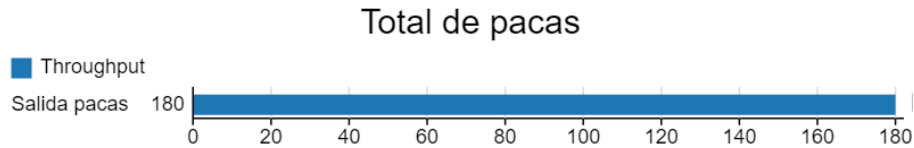
La implementación de un software como flexim que como simulador es fundamental para el modelado y análisis del desempeño de la línea productiva. A través de este software, es posible representar de manera detallada la distribución de recursos, flujos de trabajo y restricciones operativas. En la ilustración, se presenta un esquema general que refleja el estado actual de la planta de producción, permitiendo una visualización precisa.

Nota: Debido a limitaciones en la licencia de Flexsim, se tomó la decisión de realizar una reducción en diferentes procesos, tal es el caso del etiquetado, máquinas de inspección y número de operarios.

Se generan los siguientes dashboards los cuales proporcionan métricas clave para el análisis del rendimiento y la identificación de oportunidades de optimización.

Figura 5

Dashboards Output (salida de pacas al final del proceso).

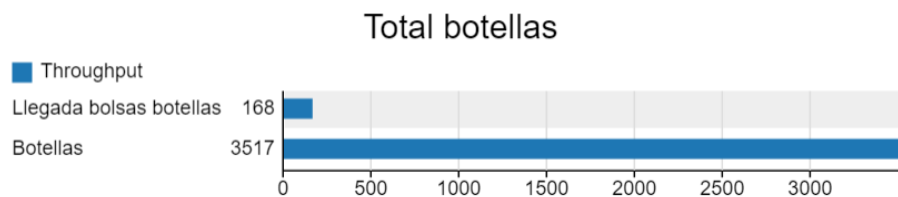


Nota: resultados obtenidos mediante simulación en el software FlexSim, correspondientes al análisis del flujo de salida de pacas al final del proceso productivo.

La ilustración presenta el Dashboard que muestra los resultados de los outputs del proceso productivo, específicamente se refiere a la cantidad de pacas generadas durante una jornada laboral. En este caso, el sistema reporta una producción de 180 pacas por día, lo que permite evaluar el rendimiento de la línea productiva.

Figura 6

Dashboards Inputs (botellas que entran en la línea de producción).



Nota: Fuente: resultados obtenidos mediante simulación en el software FlexSim, correspondientes al análisis del flujo de entrada de botellas en la línea de producción.

La ilustración representa el flujo de ingreso de botellas al sistema productivo, En el análisis de la jornada laboral que se registró un total de 168 bolsas con botellas, lo que equivale a una entrada de 3.517 unidades diarias.

8.5.2 Programación de Lógica y Flujos de Eventos Discretos

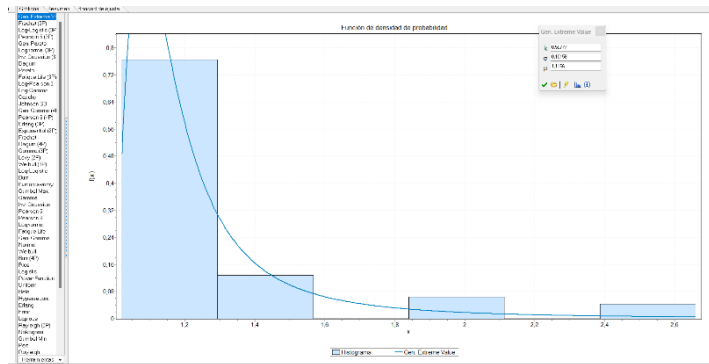
Una vez establecida la infraestructura física, se programó la lógica interna del modelo bajo el paradigma de la Simulación de Eventos Discretos (SED). Esta etapa implicó la configuración de los “arribos” de botellas vacías en el sistema y la definición de las reglas de flujo entre las estaciones de trabajo.

Además, se integraron en los procesadores manuales las funciones de distribución estadística obtenidas en la Fase 4; asimismo, se programaron las capacidades de los operarios, definiendo sus horarios, turnos y prioridades de atención. Esta configuración lógica permitió que el modelo pasara de ser solo una animación estática a ser un sistema interdependiente, donde se

evidencia el retraso de una estación y cómo este afecta automáticamente el rendimiento de las estaciones subsiguientes, tal como se observó en la realidad operativa.

Figura 7

Distribución Valores Extremos Ajustada A Los Tiempos De Proceso de Inspección.

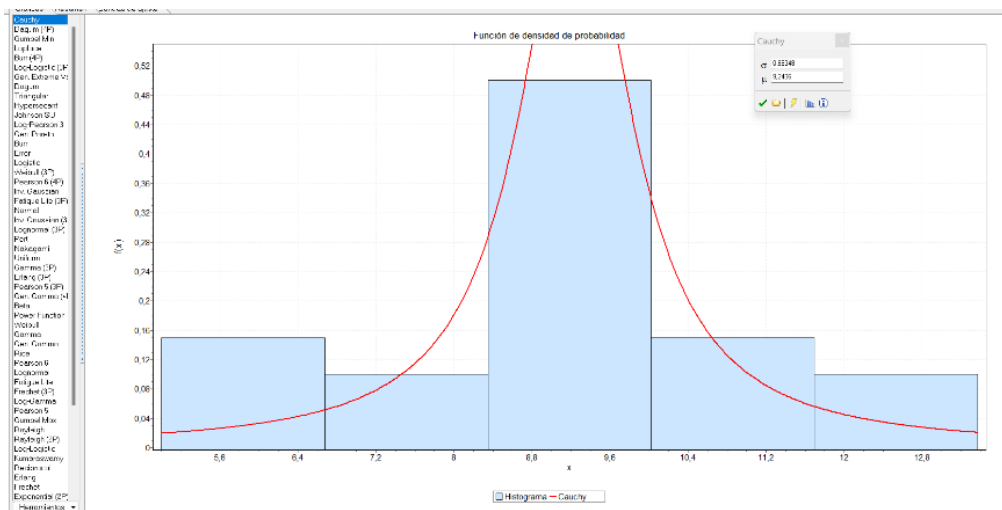


Nota: análisis realizado en el software EasyFit con datos del sistema productivo, para el ajuste de la distribución de tiempos del proceso de inspección.

En primer lugar, se logra identificar que para el proceso de inspección del nivel de líquido de las gaseosas se tiene una distribución de valores extremos con una gráfica como se muestra en la ilustración 4; esto debido que hay datos significativamente alejados de otros.

Figura 8

Distribución Cauchy Ajustada a los Tiempos del Proceso de Agrupamiento de Botellas



Nota: análisis realizado en el software EasyFit con datos del sistema productivo, para el ajuste de la distribución Cauchy en los tiempos del proceso de agrupamiento de botellas.

De la misma forma, en la ilustración, se puede observar que se tiene una distribución de Cauchy para el agrupamiento de las botellas para crear la paca de 12 botellas, esta distribución se utiliza en este caso porque tiene colas mucho más pesadas que la distribución normal. Lo que quiere decir que la probabilidad de tener valores extremos es mayor que en otras distribuciones.

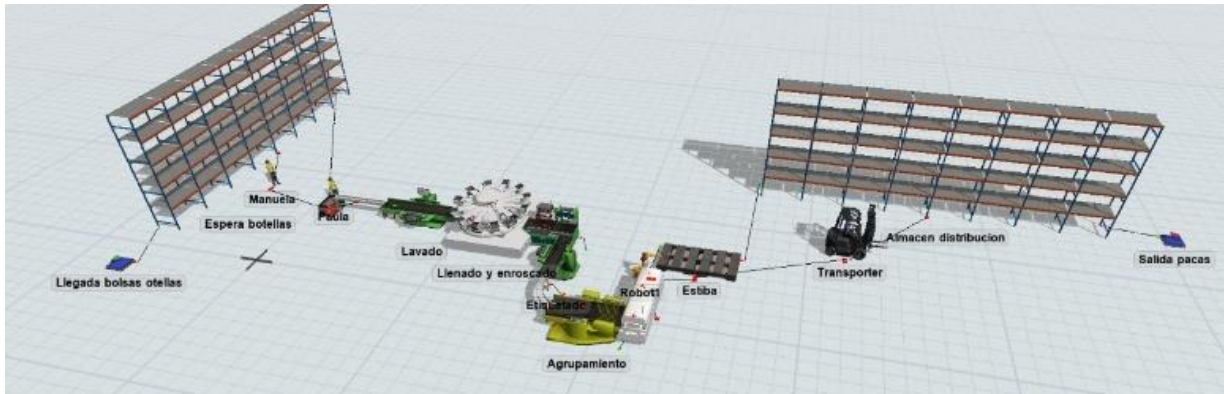
8.5.3 Configuración de dashboards y monitoreo de indicadores

Para que el modelo se convierta en una herramienta diagnóstica efectiva, se diseñaron tableros de control en el software FlexSim. Dichos tableros se programaron para capturar indicadores clave de desempeño (KPI) del simulador en tiempo real, tales como el Work In Process (WIP), el porcentaje de utilización de la maquinaria y el tiempo de permanencia promedio de las botellas en el sistema.

La implementación de estos monitoreos internos permitió cuantificar la formación de cuellos de botella y la saturación de los operarios a distintos niveles de carga. Esta etapa de construcción finalizó con el informe de la recolección de datos estadísticos detallados, proporcionados por el propio sistema, los cuales servirán como punto de comparación para futuros escenarios de mejora.

Figura 9

Diagrama Modelado Mejorado.



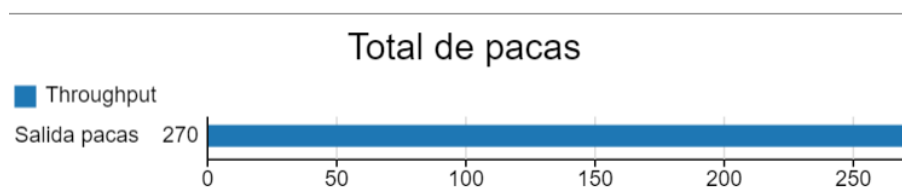
Nota: Elaboración propia, tomado del sistema productivo

La ilustración representa el nuevo escenario en el simulador FlexSim donde se busca proporcional una mejor visualización de los cambios aplicados y su impacto en el flujo.

El análisis de los Dashboard generados con la implementación de los nuevos parámetros presenta los siguientes resultados:

Figura 10

Dashboard output (salida de pacas al final de la línea)

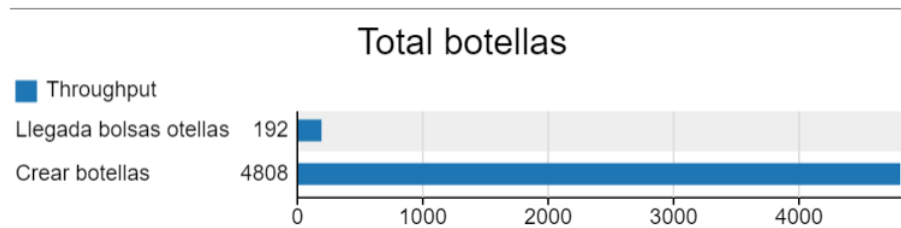


Nota: Software FlexSim

La ilustración representa como con las mejoras implementadas existe una cantidad de salida de pacas mayor, lo que representa un aumento de 90 pacas al día.

Figura 11

Dashboard inputs (botellas que entran en la línea de producción).



Nota: Software FlexSim

Del mismo modo, en la ilustración, se denota una clara diferencia en comparación con el Dashboard anterior de inputs, con las mejoras implementadas se tiene una entrada de 192 bolsas a la línea de producción, lo que equivale a 4.808 botellas.

8.6 Fase 6: Evaluación de mejoras y diseño de escenarios futuros

Esta fase final de la investigación se centró en la formulación de propuestas estratégicas para mitigar las restricciones identificadas en el modelo base. Siguiendo los lineamientos de la

norma ISO 22514-7 (2021), la cual indica que la evaluación del desempeño del proceso debe realizarse mediante indicadores de capacidad. Para ello, en estricta coherencia con la pregunta de investigación, y con ayuda de la simulación de eventos discretos (DES) como técnica fundamental para el modelado construido en FlexSim como herramienta de diagnóstico para evaluar el comportamiento del sistema e identificar las causas de los cuellos de botella. Como de la simulación de eventos discretos y la investigación de la operación permitió analizar el comportamiento del sistema en diferentes eventos mediante el análisis del evento generando cambios controlados en el sistema con el fin de identificar los cuellos de botella y asumir la

evolución continua de los procesos internos resultado de esta experimentación y del análisis de sensibilidad del modelo.

Para ello, se tomaron dos fases metodológicas: la primera se centra en un escenario de automatización tecnológica mediante la incorporación de maquinaria, la cual fue validada directamente en el entorno virtual para cuantificar el incremento de eficiencia mediante la sustitución de variables estocásticas por parámetros mecánicos constantes. Mientras que la segunda fase propone alternativas de mejora basadas en la ingeniería de métodos y principios de Lean Manufacturing, la cual surge como propuesta derivada del análisis los datos en FlexSim, el cual evidenció que la alta variabilidad en los tiempos de respuesta humana (modelado mediante la distribución de Cauchy) requiere una intervención de la ingeniería de métodos, de esta forma, la simulación no solo permitió evaluar la inversión tecnológica, sino que actual como eje rector para definir lineamientos de estandarización necesarios para la estabilidad del sistema.

8.6.1 Fase Metodológica I: Escenario de Automatización y Escalabilidad Tecnológica

Este primer bloque de mejoras constituye el eje central de la experimentación en el software de simulación, enfocándose en la reducción de la dependencia de procesos manuales críticos mediante la inversión en activos tecnológicos.

Optimización del proceso de etiquetado y codificación: Se propone integrar una máquina etiquetadora rotativa de alta velocidad con un sistema de codificación láser incorporado. En el simulador, esta mejora unifica dos subprocesos en una sola estación, elimina los retrasos generados por la manipulación de cinco operarios y sincroniza el flujo con la velocidad nominal de la llenadora.

Figura 12

Uso Etiquetado.



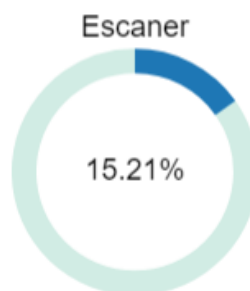
Nota: Software FlexSim

La ilustración, demuestra una tasa de uso del 99.96% del proceso de etiquetado en un día de trabajo, esto sucede debido a que el proceso de etiquetado es un proceso manual y no se encuentra automatizado por la empresa como demás procesos de la línea de producción.

Sistemas de inspección electrónica de nivel: Se recomienda sustituir la inspección visual humana por un sistema de sensores; esto reducirá la variabilidad en la distribución de valores extremos que debe evaluar una persona y creará una constante de evaluación, mitigando el impacto de la fatiga visual en la calidad del producto.

Figura 13

Uso Escáner.



Nota: Software FlexSim

Se propone automatizar el agrupamiento al final de la línea con un sistema neumático y sensores que coordinan el paso de los productos según el tipo de presentación.

En la simulación se ve una mejora clara: ya no se forman acumulaciones en la zona de embalaje, que es donde normalmente se generaban atascos o esperas. Esto hace que el material avance de forma más continua hacia el área de estibado.

En pocas palabras, las cajas dejan de amontonarse y el flujo se vuelve más ordenado y constante.

Como resultado, el proceso funciona mejor porque hay menos interrupciones, menos bloqueos y un movimiento más estable en todo el final de la línea.

Figura 14

Uso Agrupamiento.



Nota: Software FlexSim

En este sentido, se propone que la producción de las botellas PET se realice de forma interna dentro de la empresa, y no se adquieran en Bogotá. La intención sería la de poder realizar esta parte del proceso de producción dentro del mismo espacio donde ocurre, lo cual permitiría eliminar la necesidad de realizar movimientos de estos productos desde otras ciudades, los cuales pueden implicar costos y demoras adicionales. De esta manera, se simplifica el proceso, debido a que se logra liberar a la empresa de depender siempre de un proveedor para uno de sus principales

materiales. Esto facilita además el trabajo diario, ya que se garantizaría la disponibilidad del material necesario para poder realizar las operaciones productivas sin inconvenientes.

8.6.2. Fase Metodológica II: Escenario de Optimización Operativa y de Bajo Costo

Adicionalmente, se determinaron estrategias de mejora que no necesitan un gran desembolso de recursos financieros. Estas soluciones se requieren para estabilizar los procesos de trabajo existentes antes de la implementación de la automatización completa.

Ergonomía y equilibrado de línea: Se sugiere mejorar la antropometría de los puestos manuales con la ayuda de mecanismos mecánicos sencillos. Por otra parte, empleando el equilibrado de líneas, es posible reorganizar las distribuciones de trabajo de manera tal que se minimice la cantidad de movimientos superfluos y se disminuya la tensión de los trabajadores, lo cual el modelo de simulación detectó como uno de los factores dominantes del tiempo de ciclo.

Control visual y estandarización (Andon): Se propone la implementación de un sistema de control visual de tipo Andon para detectar errores de manera rápida. Además, la creación de procedimientos operativos estándar (SOP) garantiza la homogeneidad del agrupamiento y ensamblaje en un procedimiento único y eficiente, lo cual permite optimizar la dispersión de los datos.

Sincronización de cadenas de producción mediante Kanban y 5S: Se plantea la posibilidad de utilizar sistemas de señalización Kanban para la tracción por demanda de los componentes de los productos, además de la utilización de la metodología de las 5S para optimizar la organización del almacenamiento.

9 Conclusiones

9.1 Caracterización del sistema productivo (Objetivo 1):

Gracias a la técnica de inmersión presencial y a la observación directa, se logró definir la estructura operativa de la línea de 1 litro, destacándose que el sistema presentaba características híbridas con seis puestos de trabajo secuenciales, donde se combinan los procesos de automatización de alta velocidad con las tareas manuales. La parte técnica de la evaluación permitió definir que la "esencia" del sistema se encuentra en la máquina embobonadora, que funciona a un ritmo nominal de 65 piezas por minuto, equivalente a 0,92 segundos por pieza. No obstante, la medición de los tiempos de ciclo a través de cronometraje permitió establecer el efecto de la variabilidad humana sobre el flujo productivo, que evidenciaba la disminución del ritmo real de salida frente al potencial teórico. Este proceso de análisis fue clave para definir una línea base de producción de 180 pacas por día laboral, representando un ritmo de salida de 3,517 unidades diarias, que resulta inferior a la capacidad de la maquinaria instalada.

9.2 Diagnóstico de cuellos de botella (Objetivo 2):

Las condiciones identificadas por el análisis técnico mostraron la existencia de una gran barrera en el proceso de etiquetado manual, dado que era muy dependiente de la fuerza laboral disponible. Según la metodología de la Teoría de Restricciones (TOC), de Eliyahu Goldratt, esto representa una gran barrera que limita la capacidad del sistema completo a tener un buen desempeño, dado que necesita cinco trabajadores para tratar de mantenerse al mismo paso que la maquinaria.

Como consecuencia directa de esta operación manual, se registró una tasa de utilización del 99.96% en esta estación, lo que indica una saturación casi total del recurso que impide cualquier margen de maniobra ante picos de demanda estacional.

Esta limitación se suma a la desincronización del 31.5% detectada en la estación de inspección visual, donde el tiempo de respuesta humano (1.21 s/botella) supera la cadencia de la llenadora (0.92 s/botella). En conjunto, estas ineficiencias manuales en el etiquetado e inspección generan una acumulación constante de Inventario en Proceso (WIP) y una reducción del 27.7% en el rendimiento global de la planta respecto a su capacidad nominal. Esto justifica técnicamente que el sistema actual no es capaz de procesar el flujo máximo de la maquinaria debido a las restricciones impuestas por las tareas manuales.

9.3 Experimentación de escenarios alternativos (Objetivo 3):

La construcción del modelo de simulación en el software FlexSim permitió consolidar un entorno virtual de alta fidelidad que replica la infraestructura física y la lógica operativa de la línea de 1 litro de Kola Sol S.A.S. Para garantizar la precisión del modelo, se parametrizó la velocidad de las cintas transportadoras a 1,6 m/s y se integraron las distribuciones de probabilidad de Cauchy y Valores Extremos. Estas funciones estadísticas fueron fundamentales para capturar la variabilidad real de las estaciones manuales de inspección y agrupamiento, permitiendo que el sistema virtual respondiera ante picos de tiempo y acumulaciones de Inventario en Proceso (WIP) tal como sucede en la planta real. La construcción de este escenario base permitió replicar la operación actual, estableciendo un límite de salida técnica de 180 pacas por hora bajo las condiciones de saturación manual detectadas. Posteriormente, el proceso de experimentación se centró en la modificación de los flujos mediante la incorporación de activos tecnológicos en el motor de simulación. Se diseñó

un escenario mejorado donde se sustituyó la inspección visual por un sensor electrónico de medida y se integró una etiquetadora rotativa de alta velocidad, eliminando la dependencia de las variables estocásticas del factor humano en los puntos críticos. Al someter este nuevo diseño a corridas de simulación, el modelo demostró capacidad para procesar un flujo de entrada de 4,808 unidades por hora. Esta fase de experimentación virtual validó que, al estabilizar mecánicamente las estaciones de inspección y agrupamiento, la línea es capaz de alcanzar una producción de 270 pacas por hora. Así, el simulador cumplió su función como laboratorio virtual, permitiendo proyectar una nueva distribución de recursos y una mayor capacidad productiva sin incurrir en riesgos económicos o paros en la operación real de la empresa

9.4 Evaluación de resultados y comparación de alternativas (Objetivo 4):

La evaluación comparativa de los resultados obtenidos en los dashboards de FlexSim permitió determinar la superioridad operativa de la propuesta de automatización parcial frente a la configuración actual de la planta. Al contrastar los indicadores de eficiencia, se evidenció que el escenario mejorado no solo estabiliza el flujo, sino que logra un incremento neto del 50% en la productividad final, elevando la salida de 180 a 270 pacas por hora. Esta mejora es el resultado directo de optimizar la capacidad de absorción de insumos de la línea, la cual pasó de 3,517 a 4,808 unidades por hora, lo que representa un aumento del 36.7% en el flujo de entrada del sistema.

Desde una perspectiva técnica, la alternativa seleccionada (integra el sensor de nivel, la etiquetadora rotativa y el agrupador neumático) demuestra ser la más favorable para Kola Sol S.A.S., ya que logra recuperar el 27.7% de rendimiento que se perdía en el sistema manual debido a la desincronización de cadencias. Asimismo, los datos de simulación confirmaron una reducción

drástica en el Inventario en Proceso (WIP) y una eliminación de los cuellos de botella en las estaciones críticas, garantizando que la empresa pueda operar cerca de su capacidad nominal instalada. Por consiguiente, esta evaluación proporciona el sustento estadístico y operativo necesario para justificar la inversión tecnológica como el motor de competitividad para la organización.

9.5 Conclusión hipótesis:

Tras el análisis comparativo de los resultados, se procede a la aceptación de la hipótesis de investigación, fundamentada en la validación estadística de las premisas planteadas. El contraste entre el escenario base y el escenario mejorado evidenció que la automatización de los puntos críticos de control permite una transición de flujos estocásticos a procesos de alta estabilidad mecánica. La premisa de que la simulación permitiría incrementar la eficiencia operativa se confirma mediante el cumplimiento de los indicadores de rendimiento proyectados en el modelo, validando que la intervención tecnológica en las estaciones de inspección y etiquetado es la ruta técnicamente viable para alcanzar los niveles de productividad requeridos por la organización.

9.6 Conclusión general del proyecto:

La construcción y experimentación del modelo de simulación en FlexSim permitió evaluar y proponer mejoras sustanciales al sistema productivo de Gaseosas Kola Sol S.A.S. mediante la implementación de las distintas etapas durante la investigación. La recolección de información mediante inmersión presencial y cronometraje permitió estructurar un modelo estocástico a partir de datos reales, con el cual se identificó como principal restricción la estación de etiquetado

manual, que presenta una saturación del 99.96%, así como una desincronización del 31.5% en la inspección visual.

La evaluación de escenarios en el entorno de simulación permitió analizar una alternativa de automatización parcial, incorporando un sensor electrónico de nivel y un sistema de agrupamiento efectivo, evidenciado mediante el uso de distribuciones probabilísticas de Cauchy y valores extremos que define una reconfiguración del sistema para incrementar la entrada de insumos a 4,808 unidades por hora y elevar la producción de 180 a 270 pacas por hora.

El estudio muestra que la simulación es una herramienta muy útil para analizar y mejorar sistemas operativos antes de aplicarlos en la realidad. Permite detectar problemas que no son evidentes a simple vista y probar soluciones sin asumir riesgos físicos o costos innecesarios.

Gracias a este enfoque, fue posible ajustar la sincronización de los procesos en la línea de producción, lo que mejoró la eficiencia general. En términos prácticos, esto se tradujo en una mayor cantidad de paquetes terminados por jornada laboral y un uso más ordenado de los recursos.

En pocas palabras, la simulación no solo ayudó a “ver” mejor cómo funciona el sistema, sino también a tomar decisiones más acertadas para hacerlo más productivo y competitivo.

10 Recomendaciones

Se recomienda ampliar el modelo de simulación a otros tamaños de envases (335 ml, 600 ml y 2 L) para comprobar si los mismos cuellos de botella se repiten o cambian según el tipo de presentación. Esto ayudaría a entender mejor el comportamiento real de toda la línea de producción, no solo de un producto específico.

También es importante incluir variables de mantenimiento en futuras simulaciones, como el tiempo entre fallas y el tiempo de reparación. Esto permitiría medir con mayor precisión los pequeños tiempos de inactividad que, sumados, afectan el rendimiento general de la planta.

Otro punto clave es la cadena de suministro. Se sugiere mejorar su análisis mediante modelos que ayuden a reducir riesgos de transporte y posibles faltantes de materiales, especialmente por la dependencia de proveedores ubicados en otras ciudades.

Además, se plantea avanzar hacia un sistema tipo “gemelo digital”, conectando sensores en tiempo real con el software de simulación. Esto haría posible tomar decisiones más rápidas y ajustadas a cambios repentinos en la demanda.

Finalmente, se recomienda considerar el factor humano y la ergonomía del trabajo, ya que el cansancio del personal influye en la calidad y velocidad del proceso. También sería valioso incorporar criterios ambientales, como el consumo energético y la huella de carbono, para mejorar la sostenibilidad del sistema productivo.

En conjunto, estas mejoras buscan no solo aumentar la eficiencia, sino hacer el sistema más estable, inteligente y sostenible.

Referencias

Burbano Pantoja, V. M., Valdivieso-Miranda, M. A., & Burbano Valdivieso, Á. S. (2024). Teoría de colas en la práctica investigativa: generación de modelos probabilísticos para líneas de espera. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 9-24.

Ángel Cruz, J. D., & Roldán Nariño, R. F. (2023). Simulación de eventos discretos para equilibrar cargas laborales en operarios: caso de estudio en la industria de las bebidas. *Trabajo de Grado*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Angulo Angulo, B., & Solano Jiménez, M. c. (2025). *Propuesta de un plan técnico-operativo basado en las herramientas Lean Manufacturing*. Bogotá.

BERNAL TORRES, C. A. (2016). *Metodología de la investigación*.

Bustillo Espinal, J. A., & Velásquez García, M. J. (2024). Statistical Analysis of Time Collection Tools for Simulation of Industrial Systems. *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*. doi:10.11159/icmie24.132

Caparrós Mancera, J. J., Rodríguez, C. A., Rodríguez Pérez, Á. M., & Hernández Torres, J. A. (2024). MODELING AND SIMULATION OF INDUSTRIAL PROCESSES. *Advances in Building Education*, 46-60.

Colmenares Perdomo, A. (2014). El mercado de las bebidas gaseosas: reto por capturar el gusto de los consumidores. *Hojas y Hablas*(11), 88-99.

Contreras García, M. (2021). Trabajo Fin de Grado. *TEORÍA DE COLAS*. Universidad de Jaén - Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas, Jaén.

DANE. (2024). *Encuesta Anual Manufacturera 2022*. Técnico. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/EAM/bol-EAM-2022.pdf>

Deep Market Insights. (2024). *Global Carbonated Soft Drink Market Size & Outlook, 2025-2033*.

Denise R.P. Azeredo, V. A. (2016). An overview of microorganisms and factors contributing for the microbial stability of carbonated soft drinks. *Food Research International*, 82, 136-144. doi:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996916300230>

EMIS. (2023). *Gaseosas de Girardot S.A.S. (Colombia)*. Girardot: EMIS Business Report. Expert Market Research. (2024). *Mercado Colombiano de Bebidas No Alcohólicas (2026-2035)*. Obtenido de <https://www.expertmarketresearch.com/es/reports/colombia-non-alcoholic-beverages-market>

Fonseca Casas, P. (s.f.). *Introducción a la simulación*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya (UOC).

Garcés, C. C. (29 de noviembre de 2023). *La dinámica comercial de la industria de alimentos y bebidas aporta un 3% al PIB*. Obtenido de Sectores clave en la producción: https://www.larepublica.co/especiales/sectores-clave-en-la-productividad/la-industria-de-alimentos-y-bebidas-aporta-3-al-pib-3757634?utm_source

Garcia-Sabater, J. P. (2020). *Producto y Dirección de Operaciones*. RIUNET. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/137437>

Gómez Domínguez, D. (3 de septiembre de 2020). *El cura que inventó la primera gaseosa*. (larazon.es) Obtenido de <https://www.larazon.es/ciencia/20200814/33gazvew55c57kvkbnhsrpyd4y.html>

Guanochanga Pilapanta, E. N., & Pacheco Estrella, A. A. (2024). ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN EN LA FÁBRICA AMBASODAS CIA. LTDA. *Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, Ecuador.

Guevara Holguín, E. D., & Moncada Pinilla, N. (2018). *IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO LOGÍSTICO DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE MERCANCÍAS EN LA ORGANIZACIÓN GASEOSAS DE GIRARDOT S.A.S*. Universidad Piloto de Colombia, Girardot.

Hernández-Sampieri, R. &. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.

Huang, X., Wang, Q., Hou, Jue, Yang, Y., & Liu, Z. (2025). Skill proficiency based simulation optimization of garment assembly line and its application. *Fangzhi Xuebao/Journal of Textile Research*, 46(1), 169-178.

IMARC Group. (2024). *Tamaño, participación, tendencias y pronóstico del mercado de refrescos por producto, canal de distribución y región, 2025-2033*.

Informes de Expertos. (2024). *Mercado de Bebidas No Alcohólicas en Colombia*. Obtenido de <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-bebidas-no-alcoholicas-en-colombia>

La Nota Económica. (3 de Septiembre de 2024). *Industria de bebidas: la que más ha crecido en 2024*. Obtenido de <https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/industria-de-bebidas-la-que-mas-ha-crecido-en-2024>

Law, A. M. (2015). *Simulation Modeling* (Quinta ed.). McGraw-Hill. Obtenido de <https://staff.universitaspahlawan.ac.id/web/upload/materials/958-materials.pdf>

Martínez Gómez, M., & Marí Benlloch, M. (2009). La distribución Poisson. *Estadística, Investigación Operativa Aplicadas y Calidad*, 1-9.

Mordor Intelligence. (2024). *Soft Drinks Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts Up To 2030* Source: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-soft-drinks-market?utm_source=chatgpt.com.

Orús, A. (4 de Marzo de 2024). *Consumo mundial de refrescos 2014-2028*. Obtenido de [es.statista.com: https://es.statista.com/estadisticas/1330488/consumo-mundial-de-refrescos/?utm_source=chatgpt.com](https://es.statista.com/estadisticas/1330488/consumo-mundial-de-refrescos/?utm_source=chatgpt.com)

Ramírez Franco, E. A. (2023). *Incremento de la productividad mediante la teoría de restricciones a línea de embotellado de bebidas carbonatadas en presentaciones de 12 onzas y ½ litro en planta ubicada en Retalhuleu*. Guatemala.

Real Academia Española. (s.f.). *Eficiencia*. (Diccionario de la lengua española (23.^a ed.)) Recuperado el 16 de Febrero de 2025, de <https://dle.rae.es/eficiencia>

Ruiz Lopez, J. M. (2015). *GESTIÓN Y ARRANQUE DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN “MIXED MODEL MANUFACTURING – 3P”*. CIATEQ, Aguascalientes.

Salud pública. (Octubre de 2014). *DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD*. Obtenido de Epidat 4: <https://www.sergas.es/Saude-publica>

Sanabria Brenes, G. (2021). *Comprendiendo la Estadística Inferencial*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Santander Samaniego, L. A. (2024). *Diseño de planta de Sidra de Manzana para la definición de parámetros productivos iniciales*. Riomba.

Sectorial. (12 de septiembre de 2023). *El 78% de los Colombianos Consume Gaseosas*. Obtenido de Sectorial: <https://sectorial.co/informativa-bebidas/consumo-de-caseosas-en-colombia/Serga>. (Octubre de 2014). *Sergas.es*. Obtenido de DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD: <https://www.sergas.es/Saude-publica/Epidat-4-1--13--Distribuci%C3%B3ns-de-probabilidad>

Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. Limusa, S.A. DE C.V.
The International Organization for Standardization. (2011). *ISO 13053*. The International Organization for Standardization.

The International Organization for Standardization. (2021). *ISO 22514-7*. The International Organization for Standardization.

Veiga, N., Otero, L., & Torres, J. (1 de Diciembre de 2020). Reflexiones sobre el uso de la estadística inferencial en investigación didáctica. *InterCambios. Dilemas y transiciones de la Educación Superior*, 7(2), 94-106. doi:<https://doi.org/10.2916/inter.7.2.10>

WMO. (Octubre de 2023). *Curso de Herramientas Informáticas para Estudios y Desarrollos*. Obtenido de World Meteorological Organization: https://etp.wmo.int/pluginfile.php/68830/mod_resource/content/1/6.-%20Valores%20Extremos%20P.Retorno.pdf

Zennaro, I., Battini, D., Sgarbossa, F., Persona, A., & De Marchi, R. (2018). Micro downtime: Data collection, analysis and impact on OEE in bottling lines the San Benedetto case study. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 35, 965-995.

Anexos