Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Aumento de la producción en una bloquera al norte del Estado de México mediante simulación de eventos discretos

Production increase at a blockhouse in the northern part of the State of Mexico through discrete-event simulation

Zarza-Díaz, R.*, Martínez-Martínez, T.I., Cruz-Santiago, L.

Departamento de Ingeniería Industrial, Dpto. de Ingeniería en Logística, Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec. C.P.54240, Jilotepec de Andrés Molina Enríquez, Estado de México.
rogelio.zd@jilotepec.tecnm.mx*; tere.tesji@gmail.com; lizbeth-14.6@hotmail.com

Innovación tecnológica: Aplicación de la simulación de eventos discretos para la toma de decisiones.

Área de aplicación industrial: Análisis de escenarios de mejora para el aumento de producción en pequeñas empresas.

Recibido: 08 septiembre 2022
Aceptado: 28 febrero 2024

Abstract

The discrete events simulation is a tool applicable to the improvement of industrial processes, since it allows the analysis of different improvement scenarios to comply with organizational indicators, without companies investing their resources with the uncertainty of the results. This research was developed in a stationary type blockhouse in compliance with NMX-C-441-ONNCCE-2005 with the main objective of increasing production from 4,500 first-class blocks to 5,000 per week, as well as reducing second class products and removing in-process materials. Simulation process methodology was used in conjunction with a time and motion study and balance charts to determine the process bottlenecks. The scenarios proposed were in accordance with the needs of the blockhouse and once the ideal scenario was established, a DOE 2^2 was applied with two replicas to establish the process conditions. Once the improvement scenario was implemented, 100% compliance with the client's demand was validated, as well as savings in the process for $1,380.00 Mexican pesos per week. Finally, multiple linear regression equations were presented to management to facilitate future decision making.

Keywords: Scenarios, Simulation, Uncertainty, Production, Blockhouse.

Resumen

La simulación de eventos discretos es una herramienta aplicable al perfeccionamiento de procesos industriales, dado que permite analizar diferentes escenarios de mejora para cumplir con los indicadores organizacionales, sin que las empresas inviertan sus recursos con la incertidumbre de los resultados. Esta investigación se desarrolló en una bloquera de tipo estacionaria bajo el cumplimiento de la NMX-C-441-ONNCCE-2005 con el objetivo principal de aumentar la producción de 4,500 blocks de primera a 5,000 semanales, así como la reducción de productos de segunda y eliminación de material en proceso. Se utilizó la metodología de simulación de procesos en conjunto con un estudio de tiempos y movimientos y gráficos de balance para determinar los cuellos de botella de proceso. Los escenarios planteados fueron acorde a las necesidades de la bloquera y una vez establecido el escenario ideal, se aplicó un DOE 2^2 con dos réplicas para establecer las condiciones de proceso. Una vez implementado el escenario de mejora, se validó el cumplimiento de la demanda del cliente en un 100% así como un ahorro en proceso de $1,380.00 pesos mexicanos semanales. Finalmente, se presentaron ecuaciones de regresión lineal múltiple a la gerencia para facilitar la toma de decisiones futuras.

Palabras clave: Escenarios, Incertidumbre, Simulación, Producción, Bloquera.

1. Introducción

La fabricación se define como la transformación de materiales e información en bienes para la satisfacción de las necesidades humanas (Chryssolouris, 2006), actualmente los bloques de concreto se producen prácticamente en todo el mundo, debido a su alta calidad y a la demanda de materiales económicos de construcción por lo que las máquinas son llamadas bloqueras. Los distintos modelos de bloqueras, en las productoras mexicanas son; ponedoras (hidráulicas, que se mueven sobre ruedas a medida que colocan los bloques sobre un piso de hormigón y luego pasa a la siguiente posición, en que se colocarán los nuevos bloques), estacionarias (hidráulicas que colocan los bloques sobre una plataforma de madera de 1 o 2 bloques y estos luego son trasladados al piso por los operarios) y finalmente, plantas estacionarias automáticas (sistemas automatizados de mezcla y de prensado del hormigón). La materia prima utilizada principalmente es la piedra batida, arena, cemento y agua (Vanguardia, 2022). Los usos y aplicaciones de estos bloques son para la creación de muros simples o divisorios, muros estructurales, bandas perimetrales, muros de retención o de contención y construcción de losas.

Según la norma NMX-C-441-ONNCCE-2005 los productos fabricados en las bloqueras se clasifican en bloques macizos y huecos, tabiques macizos, ladrillos huecos y multiperforados, y tabicones, en su mayoría con forma rectangular. Los bloques deben ser capaces de soportar una resistencia mínima en promedio de 35 kgf/cm^2, además que no deberán presentar grietas, ampollas y otros defectos visibles que afecten la resistencia de la pieza.

Adicionalmente, no deberán tener otras imperfecciones que afecten la apariencia del muro terminado visto desde una distancia de 3 m (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, 2005).

Los modelos de simulación se clasifican en función de tres dimensiones básicas; tiempo de cambio, aleatoriedad y organización de datos. Si la simulación depende o no del factor tiempo, se puede clasificar en estática

y dinámica. Una simulación estática es independiente del tiempo, mientras que la simulación dinámica evoluciona con el tiempo. La simulación dinámica se puede clasificar en continua y discreta. En la simulación discreta, los cambios ocurren en puntos discretos en el tiempo, mientras que, en la simulación continua, la variable del tiempo es continua (Fullana Belda y Urquía Grande, 2009). Además, la simulación discreta se divide en escalonada en el tiempo y dirigida por eventos. Los pasos de tiempo consisten en intervalos de tiempo regulares y las alteraciones tienen lugar después del paso de una cantidad específica de tiempo. Por otro lado, en la simulación dirigida por eventos, las actualizaciones están vinculadas a eventos programados y los intervalos de tiempo son irregulares. En lo que respecta a la aleatoriedad de las dimensiones, la simulación puede ser determinista o estocástica. Determinista significa que la repetición de la misma simulación dará como resultado la misma salida, mientras que la simulación estocástica significa que la repetición de la misma simulación no siempre producirá la misma salida. Por último, pero no menos importante, la simulación se clasifica basada en cuadrícula y sin malla según la organización de los datos. En cuadrícula significa que los datos están asociados con celdas discretas en ubicaciones específicas en una cuadrícula y se realizan actualizaciones en cada celda de acuerdo con su estado anterior y el de sus vecinos. Por otro lado, la malla libre se relaciona con datos de partículas individuales y las actualizaciones miran cada par de partículas (Von Ronne, 2012) y (Sulistio et al., 2004).

La simulación de eventos discretos está determinada porque el sistema está dado en una secuencia de eventos que ocurren en momentos aleatorios del tiempo y el cambio de estado del sistema tiene lugar en esos instantes, es decir, su estado se modifica en instantes discretos de tiempo a causa de la aparición de algún evento. Puesto que los cambios en el sistema se producen sólo cuando ocurre algún evento, queda claro que el estado del sistema no sufrirá ninguna variación entre eventos consecutivos (Rodríguez Barrios et al., 2008). Por lo anterior, esta investigación se desarrolló en una bloquera de tipo estacionaria, bajo cumplimiento de la norma NMX-C-441-ONNCCE-2005, utilizando un modelo de simulación para eventos discretos con el software Arena®.

2. Materiales y equipo

Se utilizó software Arena® en su versión estudiantil, ya que es una herramienta para la simulación de los procesos, permite crear modelos a través de ambientes gráficos e interactivos con el fin de simular áreas específicas de los procesos de producción trabajando mediante módulos de análisis que crean un sistema compuesto por entidades a las cuales se les asignan atributos para ser individualizadas y después ser sometidas a eventos que suceden en el tiempo (Gómez Cabrera, Simulación de procesos constructivos, 2010).

El ajuste de las distribuciones de probabilidad producto del estudio de tiempos y movimientos se realizó con el software Input Analizer de Arena®, calculando los parámetros de cada una de las distribuciones probabilísticas y comparando los valores de ajuste obtenidos para cada función. Las distribuciones probabilísticas incluidas en la herramienta son Beta, Erlang, Exponencial, Gamma, Lognormal, Normal, Triangular, Uniforme y Weibull. Una vez organizados los datos por actividad y por ítem, se elaboran las curvas de distribución de probabilidad con el número de datos suficientes (mínimo 10). Con estos datos se graficaron los histogramas del comportamiento de los datos, que sirvieron para definir la curva de distribución de cada actividad en particular (Gómez

Cabrera et al., 2012). Con respecto al análisis estadístico se utilizó Minitab Statistical Software® en su versión prueba, para realizar el DOE, ANOVA y Análisis de Regresión Múltiple.

3. Método

Se utilizó la metodología propuesta por Herrera y Becerra (Javier Herrera y Abraham Becerra, 2014), en la cual se exponen las principales etapas en un proceso de simulación de procesos; sin embargo, dicha simulación dependerá de la naturaleza propia del caso de estudio, por lo que la cantidad de pasos a seguir dependerá directamente de los tiempos y recursos de operación disponibles por el investigador. En ese sentido el método se conforma por las siguientes fases:

3.1 Definición del sistema: En esta etapa se aspira a presentar de forma clara y detallada el proceso con el cual se trabajará (Blanco Rivero y Fajardo Piedrahita, 2003), sus componentes, variables de decisión (definen el comportamiento del sistema), variables de respuesta (su valor se trata de predecir con la simulación), y las medidas de desempeño que miden el comportamiento del sistema para determinar cuál escenario es el ideal (Javier Herrera y Abraham Becerra, 2014).

Dos factores importantes en la elección del proceso y su organización son el número total de piezas que se van a producir y la tasa de producción (es decir, el número de unidades producidas en una hora, un día, un mes o un año). La producción por lotes se presenta cuando se fabrica una fracción del número total de partes solicitado por el cliente. El tamaño de lote es el número de unidades producidas en una corrida ininterrumpida. No hay definiciones estrictas, pero se acostumbra a hablar de producción en lotes pequeños (1-100 unidades) de lote (más de 100) y en masa (más de 100000). En general un mayor tamaño de lote justifica la elección de los procesos con una tasa de producción inherentemente mayor, pues significa ahorros más favorables. La administración de una planta de fabricación por lotes es muy exigente. Cada máquina está manejada por un operador; los planes de producción deben asegurar la utilización completa del tiempo del operador y de la máquina; mientras que a la par se asegura que las piezas se fabriquen en el número correcto para la entrega programada (Schey, 2002).

La situación inicial de la bloquera donde se realizó la simulación consta de los siguientes sub-procesos (Figura 1).

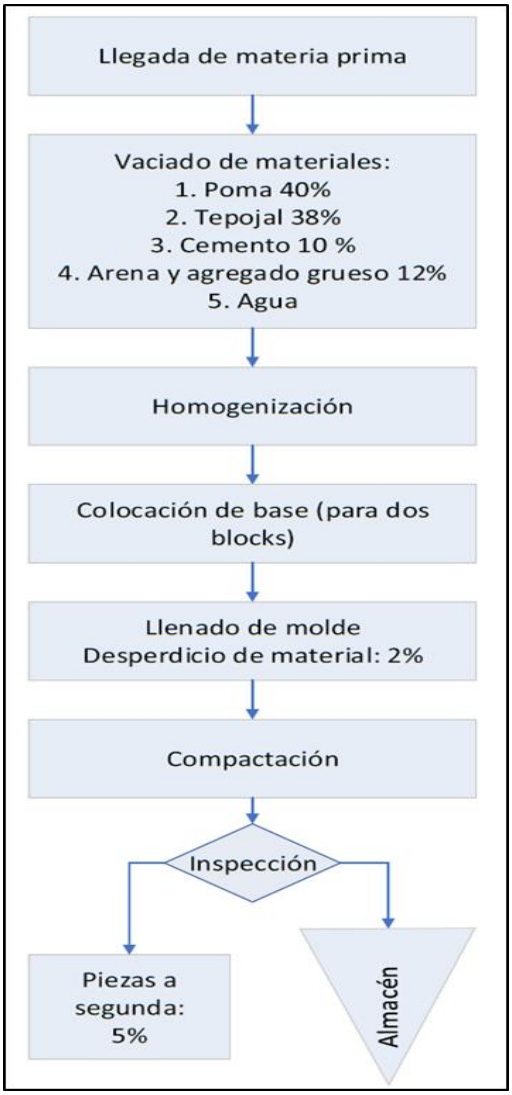


Figura 1. *Diagrama de flujo del proceso de elaboración de blocks.*
Fuente: Elaboración propia.

El consumo diario de materia prima es de 14.5 toneladas para fabricar alrededor de 900 blocks. En esta primera etapa los materiales se encuentran a libre disposición del proceso de elaboración, dado que la empresa también se dedica a la venta de materiales para la construcción. En la segunda etapa, se realiza el vaciado de los materiales en la revolvedora por vibración constando de: tierra pómez (roca de origen ígneo (Baquero Sanabria et al., 2019) y (Tarbuck, 2005) con resistencia mecánica y baja masa unitaria por su estructura porosa (Correa, 2015)), tepojal (material de relleno de origen volcánico sumamente ligero, poroso y alta estabilidad (Ferrex, 2022)), arena (conocida como agregado fino) y agregado grueso, donde el principal diferenciador con la arena es la granulometría de los granos del mineral desprendidos de las rocas. Para evitar el uso excesivo de cemento, los agregados deben tener una buena distribución granulométrica, que sean de diversos tamaños y puedan así dejar el mínimo de huecos en la mezcla, es decir, los espacios de los tamaños mayores son llenados con los subsiguientes tamaños menores (Toirac Corral, 2012). El último componente, es el cemento tipo Portland Tipo I (producido comercialmente a partir de *clínker* (CEMEX, s.f.)) y yeso, con una resistencia a la compresión máxima de 40 N/mm^2 (Lara Díaz y Melgoza Alemán, 2009) dichos materiales son homogenizados con agua en la mezcladora.

La bloquera fundamenta su funcionamiento en la vibración y la compresión de los materiales previamente preparados. Para ello se dispone de una tolva en la que se recibe el material dosificado para llenar el molde (para dos blocks) con ayuda de presión el material es forzado a entrar y alcanzar toda la superficie de la cavidad. Una vez que se ha llenado completamente el molde a presión se procede con la inspección de los productos, buscando de forma visual defectos como productos sin zonas no rellenadas, grietas, fisuras, ampollas y otros defectos visibles que afecten la resistencia de las piezas (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, 2005).

El desperdicio de material en proceso es de 2% (material no requerido que conduce a un alto costo de producción (Gisbert, 2015)), provocado porque se excede la cantidad máxima de materiales para llenar las cavidades del molde, esta actividad se realiza "para asegurar" el llenado completo de las cavidades: sin embargo, no existe precedente que colocando solamente el 100% del material necesario en el molde se obtenga un mayor número de productos defectuosos. Adicionalmente, se obtiene el 5% de blocks con defectos (productos que no cumplen con los requisitos del cliente (Figueredo Lugo, 2015)) detectados en el proceso de inspección, con lo cual se obtienen 45 piezas diarias en promedio con defectos visuales, considerados como blocks de segunda y un precio de venta de $8.00. El precio promedio de venta por cada block de primera es de $12.50, y el equivalente por perdidas de desperdicio de material en proceso de $1,125 semanales. Así mismo, el costo de producir el 5% de productos a segundas tiene un impacto de $1,012.5. En resumen, el costo de calidad semanal (indicador que refleja un proceso necesitado de acciones correctoras para eliminar actividades que no agregan valor (González Reyes y Moreno Pino, 2016)) es de $2,137.5, evidenciando un proceso con problemas de fabricación.

3.2 Recolección de datos: Consiste en la obtención de los datos referentes al proceso, por lo cual se utilizó un estudio de tiempos con cronómetro (Criollo, 2005). Por ser la técnica más común para establecer los estándares de tiempo en el área de manufactura. El estándar de tiempo es el elemento más importante de información de manufactura y a menudo el estudio de

tiempos por cronómetro es el método aceptable a nivel industrial. Para realizar la recolección de datos se tomó en consideración a trabajadores promedio (en habilidad y experiencia), definición de las operaciones a cronometrar (establecidas en la primera etapa del método), y finalmente el número de observaciones necesarias para calcular el tiempo estándar se determinó por la tabla *Westinghouse* (proporciona el número de observaciones necesarias en función de la duración del ciclo y del número de piezas que se fabrican al año (De Lira Martínez y Romero Guerrero, 2022)), la cual arrojó que, con un tiempo ciclo para un par de blocks de 3.3 minutos se deben de cronometrar 25 observaciones.

A continuación, se muestran los tiempos ciclos promedios (T.P) por actividad (Tabla 1) así como el *Takt time* (unidad de tiempo dentro de la cual un producto debe ser producido para igualar la tasa a la que se necesita el producto o demanda (Frandson et al., 2015)) el cual se calculó mediante la Ec. (1):

$$Takt\ time = \frac{tiempo\ disponible}{demanda} \quad (\boldsymbol{Ec.\ 1})$$

Tabla 1. *Tiempos promedios vs Takt time.*

Operación	T. P. (s)	*Takt time (s)*
Llegada de material	38.92	35.28
Llenado de tolva	30.92	35.28
Limpieza de cabina	4.08	35.28
Homogenización	7.76	35.28
Colocación de base	4.72	35.28
Llenado de molde	5.8	35.28
Compactación de materiales	5	35.28
Transporte de block	5.56	35.28

Fuente: Elaboración propia.

Hoy en día el modelo de fabricación de la bloquera se realiza por lotes, es decir, solo se fabrica una cantidad establecida de blocks con características idénticas para satisfacer la demanda (1000 piezas diarias), señalando que en este proceso de elaboración de blocks el molde tiene la capacidad para fabricar 2 piezas de forma simultánea. Para el cálculo del tiempo disponible se consideraron 6 horas (es el tiempo asignado por la bloquera para fabricar los blocks), tolerancia del 10% (considera un ritmo de trabajo normal, fatiga, calificación del trabajo y suplementos (Criollo, 2005)), y un tiempo asignado de comida de 30 minutos por lo cual.

$$Takt\ time = \frac{294\ min}{500\ (molde\ doble)} = 0.588\ min$$

El resultado anterior indica que, cada 0.588 minutos o 35.28 segundos se deben de fabricar 2 blocks para cumplir con la demanda diaria de 1000 piezas. Este indicador permite evidenciar las actividades que generan cuello de botella dentro de un proceso, puesto que, si una actividad supera el *Takt time* es considerado como un proceso en el cual se deben implementar estrategias de mejora que busquen eliminar o reducir al mínimo las actividades que no agregan valor, para así balancear las cargas del sistema de manufactura.

Con la información proporcionada se construyó un gráfico de balance (Figura 2), que es una representación de las actividades del proceso y el tiempo requerido para ejecutarlas, usado para mostrar las oportunidades de mejora visualizando cada tiempo de operación en relación con el *Takt time* (Villaseñor Contreras y Galidno Cota, 2007).

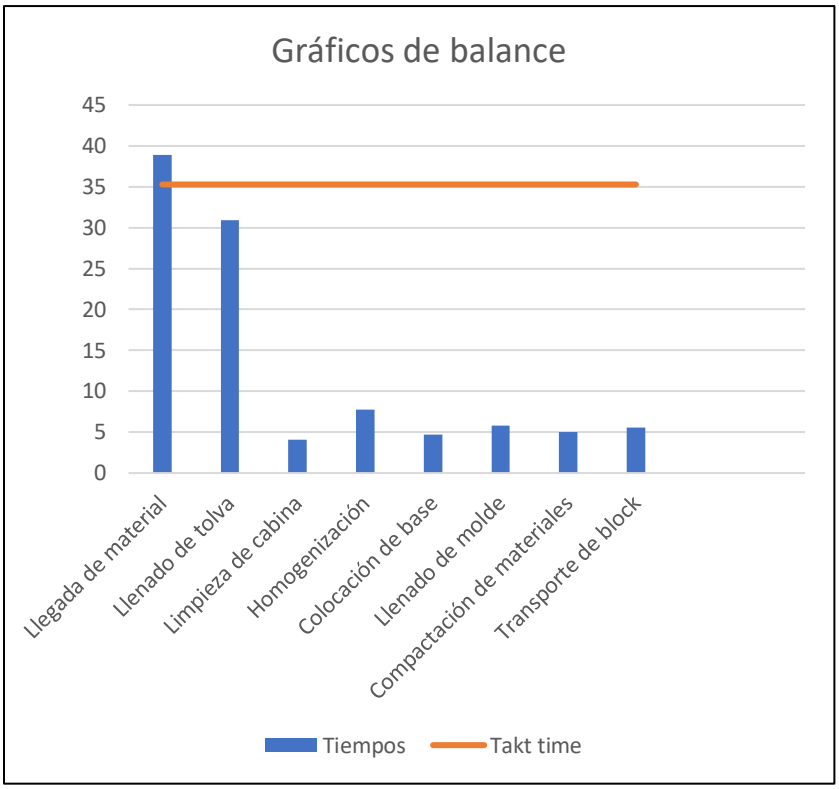


Figura 2. Gráfico de balance.
Fuente: Elaboración propia.

Es evidente que la actividad de llegada de material excede el *Takt time* por 3.64 segundos, por ende, se considera como un cuello de botella (es una etapa en el sistema de producción que tiene el mayor efecto en ralentizar o detener todo el sistema (Roser et al., 2002)). Por lo cual, los escenarios de mejora deben buscar la disminución por debajo del *Takt time* para satisfacer la demanda diaria del cliente, e inclusive aumentar la capacidad de producción. Así mismo, el gráfico de balance permite identificar con mayor claridad las actividades que agregan valor (aquellas que transforman o cambian el producto o servicio y por las cuales el cliente está dispuesto a pagar), y las actividades que no agregan valor (acciones que consumen tiempo y/o recursos y por lo tanto el cliente no está dispuesto a pagar). Adicionalmente, se pueden identificar actividades que son necesarias pero que no agregan valor al producto final por lo cual se deberán de minimizar (considerando al llenado de la tolva). Los escenarios de mejora deben considerar la disminución del tiempo del llenado, permitiendo así la disminución considerable del tiempo ciclo con lo cual evidentemente aumentaría la capacidad de producción de la bloquera.

Bajo el contexto anterior, las mejoras planteadas deberán buscar la eliminación o reducción por debajo del *Takt time* a la llegada de material, y la reducción del tiempo de llenado de tolva, teniendo como principales indicadores la reducción del 2% de material desperdiciado en proceso con un costo de $1,125 y un costo por fabricar blocks de segunda de $1,012.5 pesos mexicanos semanales, así como el cumplimiento de la demanda semanal de 5,000 blocks.

3.3 Análisis de entrada: En esta etapa se estudian los datos recolectados previamente con el fin de establecer su comportamiento estadístico y que serán introducidos en el

software de simulación de manera que se pueda asegurar que los parámetros de la simulación funcionan de manera correcta de acuerdo con el comportamiento original del sistema. Se utilizaron pruebas de bondad de ajuste, que buscan probar de manera estadística que la distribución de la frecuencia observada se ajusta con alguna distribución teórica conocida (Marques Dos Santos, 2011). Para realizar el ajuste a las distribuciones de probabilidad de los datos recolectados se utilizó la herramienta Input Analizer de Arena®, ya que brinda las distribuciones que más se ajustan a los datos y realiza las pruebas de bondad de ajuste Chi-cuadrado y Kolmogorov-Smirnov (Canavos , 1996).

Los ajustes de los tiempos de cada de una de las etapas de fabricación de blocks a distribuciones de probabilidad se reflejan en la siguiente figura.

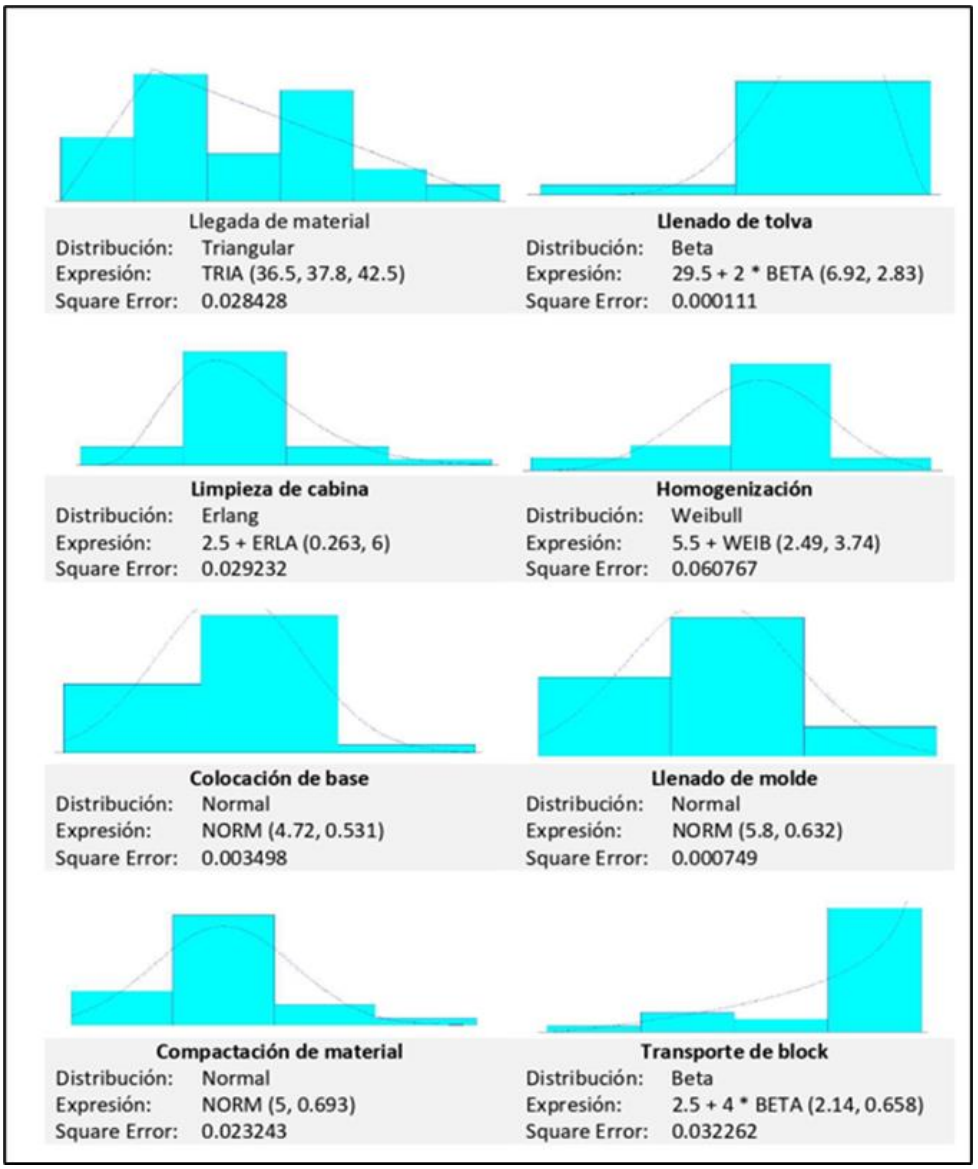


Figura 3. *Ajuste de los tiempos a distribuciones de probabilidad.*
Fuente: Elaboración propia.

3.4 Construcción del modelo: En este paso se debe elaborar el modelo del sistema lo más cercano a la realidad, empleando la sintaxis específica del software que se esté utilizando, teniendo en cuenta la lógica secuencial del proceso real. Para efectuar la construcción del modelo en el simulador Arena® se utilizan los siguientes principales operadores (Kelton et al., 2008):

- Delay: Utiliza un recurso durante un periodo de tiempo
- Seize Delay: Reserva un recurso y lo utiliza durante un periodo de tiempo
- Seize Delay Release: Reserva un recurso, lo utiliza durante un periodo de tiempo y lo libera
- Delay Release: Utiliza un recurso durante un periodo de tiempo y lo libera

La construcción del modelo de simulación (Figura 4) está representada por los o sub-procesos que conforma la elaboración de blocks y los ajustes de distribuciones de probabilidad obtenidos por el estudio de tiempos y movimientos previamente realizado.

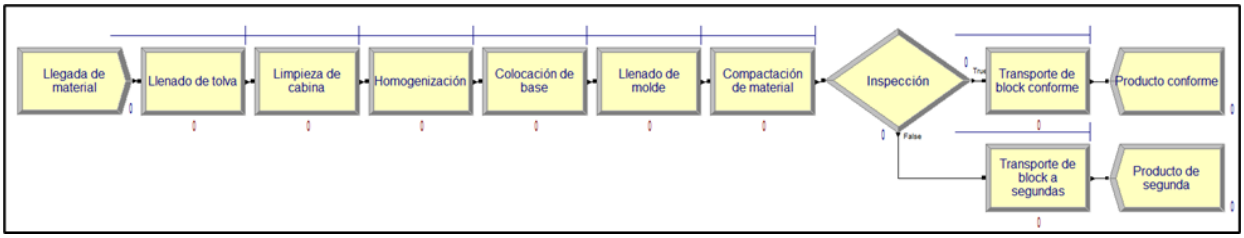


Figura 4. *Construcción del modelo de simulación.*
Fuente: Elaboración propia.

3.5 Validación: En este paso se busca realizar pruebas experimentales para cotejar si el modelo es una representación fidedigna o semejante del sistema real, esto se hace mediante la comparación de la información de salida del modelo o resultados obtenidos de la simulación previa contra los datos observados reales. Con esto se busca que los parámetros de las variables y la estructura lógica del modelo sean representados de manera correcta en el ordenador. Cuando se encuentran diferencias, estas son usadas junto con el conocimiento adquirido, para mejorar el modelo. Este proceso se repite hasta que la exactitud del modelo sea aceptable (Javier Herrera y Abraham Becerra, 2014).

Dependiendo del modelo a simular se sugiere hacer prototipos para verlos en funcionamiento, por lo que se recomiendan las siguientes formas de validación: opinión de los expertos en el sistema, opinión de expertos en simulación, evaluación estadística, test de validación entre otros (Javier Herrera y Abraham Becerra, 2014). La validación consiste en asegurarse que el modelo se comporta de manera similar al sistema real (Kelton et al., 2008), por lo que se realizó una simulación para los 5 días laborables a la semana y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2. *Comparación de resultados.*

Proceso Real	Proceso Simulado
900 blocks de primera	904 blocks de primera
45 blocks de segunda	42 blocks de segunda

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados preliminares, el modelo de simulación esta apegado con el sistema de fabricación real, presentando un error del 0.44% para los blocks de primera y un error del 6.6% para los blocks de segunda. Adicionalmente, se utilizó el método de

ancho de intervalo (*Half width)* (Hernández Díaz et al., 2018) que consiste en calcular el número óptimo de réplicas para el estudio, por lo cual se consideró un error deseado máximo de 10% ($e = 0.10$) y una muestra arbitraria de simulación de 5 días (n') (número de días laborables en la bloquera), que al ejecutarlas se obtuvo un *Half Width* de 0.68 para la entidad de entrada al sistema de simulación, sustituyéndose en la Ec. (2), donde:

$$n = n'\left(\frac{h_0}{e}\right)^2 = 5\left(\frac{0.68}{0.1}\right)^2 = 231 \text{ réplicas} \quad \textbf{(Ec. 2)}$$

La validación del modelo se realiza para desarrollar un nivel aceptable de confianza de que las inferencias sacadas del desempeño del modelo son correctas y aplican al sistema real. Por tanto, se realizaron 231 réplicas del sistema de simulación para validarlo y asegurar que los indicadores de proceso seleccionados están apegados al proceso real y de esta manera proceder con la elaboración de los escenarios de mejora, confirmando que el sistema de simulación produce 904 blocks de primera y 42 blocks de segunda.

3.6 Experimentación: Una diferencia fundamental entre los experimentos computacionales y los experimentos físicos es que en los primeros se tiene mayor control sobre los factores que inciden sobre una respuesta ya que estos factores son generados a partir de algoritmos estocásticos predefinidos cuyos parámetros son especificados por el investigador. En contraste, los experimentos físicos generan resultados que dependen de factores que frecuentemente no son posible controlar (Salazar y Baena Zapata, 2009); por lo que, en esta etapa se evalúan los diversos escenarios propuestos para mejorar el sistema de acuerdo con los objetivos e indicadores planteados inicialmente. Es importante que los indicadores de desempeño se evalúen con un criterio objetivo para seleccionar la mejor opción.

Escenario de mejora número 1

El primer escenario de mejora considera el aumento del tiempo disponible por 1 hora, es decir 7 horas para fabricar la demanda diaria de 1000 blocks, se tendría lo siguiente:
Tiempo de jornada = 7 horas
Tiempo de comida = 30 minutos
Tolerancia del 10 % = 42 minutos

$$Takt\ time = \frac{348\ min}{500\ (molde\ doble)} = 0.696\ min$$

Por lo que el ritmo de fabricación de un par de blocks estaría dado por 41.76 segundos y los resultados obtenidos al simular las 231 réplicas son:

Tabla 3. *Resultados reales vs Escenario 1.*

Proceso Real	Escenario 1
900 blocks de primera	1070 blocks de primera
45 blocks de segunda	52 blocks de segunda

Fuente: Elaboración propia.

Escenario de mejora número 2

El segundo escenario de mejora considera el mismo tiempo disponible al proceso real (0.588 min) sin embargo, se propone la disminución del tiempo de "llegada de material", apoyada con el uso de la retroexcavadora para acercar el material a la línea de fabricación (Figura 4), dicha reducción se proyecta en un 25% (de 38.92 segundos a 29 ± 1 segundos). Adicional al uso de contenedores calibrados de la masa de los materiales correspondientes, así se elimina el exceso de material cargado en los moldes y la reducción del tiempo en el "llenado de tolva" en un 25% (de 30.92 segundos a 23.19 ± 1 segundos).

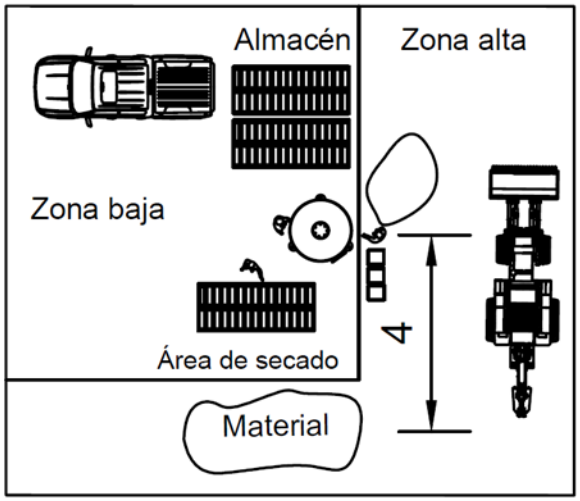


Figura 4. *Distribución del área de trabajo escenario 2.* Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos del escenario de mejora número 2 con las 231 réplicas del sistema son las siguientes:

Tabla 4. *Resultados reales vs Escenario 2.*

Proceso Real	Escenario 2
900 blocks de primera	1064 blocks de primera
45 blocks de segunda	58 blocks de segunda

Fuente: Elaboración propia.

Escenario de mejora número 3

El último escenario de mejora plantea la reducción del tiempo disponible de 6 horas a 5 horas considerando:

Tiempo de jornada = 5 horas
Tiempo de comida = 30 minutos
Tolerancia del 10% = 30 minutos

$$Takt\ time = \frac{240\ min}{500\ (molde\ doble)} = 0.48\ min$$

El ritmo de producción sería de 28.8 segundos y para lograr esta disminución se propone la eliminación del subproceso de llegada de material, puesto que la bloquera "posee siempre" disponible los materiales de elaboración de blocks, ya que también funge como Casa de venta de materiales para la construcción, por ello se plantea la redistribución del área donde se encuentra hoy en día el material y alinearlo a la bloquera (Figura 5). Adicionalmente para reducir el tiempo de "llenado de tolva" se sugiere el uso de contenedores calibrados del peso de material permitiendo así la reducción del 25% del tiempo (de 30.92 segundos a 23.19 segundos).

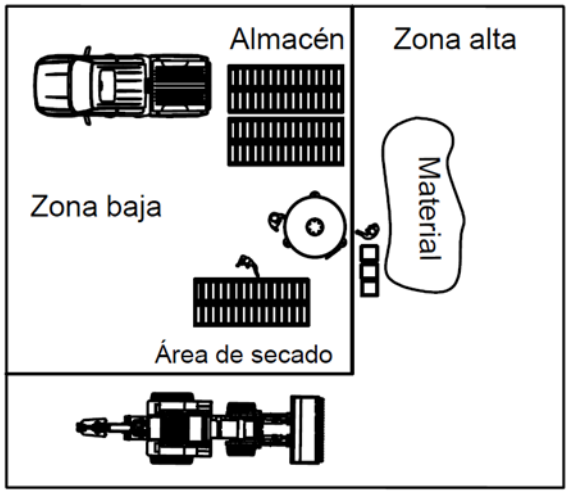


Figura 5. *Distribución del área de trabajo escenario 3.* Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del escenario de mejora número 3 junto con las 231 réplicas del sistema son:

Tabla 5. *Resultados reales vs Escenario 2.*

Proceso Real	**Escenario 3**
900 blocks de primera	1240 blocks de primera
45 blocks de segunda	42 blocks de segunda

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Interpretación y presentación de resultados: En esta etapa se exponen de manera clara los resultados obtenidos considerando el comportamiento del sistema en la experimentación, los escenarios planteados y sus comportamientos, las acciones consideradas para afrontar el problema planteado y finalmente una evidencia clara de la interpretación de los resultados obtenidos en el escenario que brinda la solución al problema planteado (Javier Herrera y Abraham Becerra, 2014) así como la descripción de los resultados obtenidos en los indicadores de desempeño establecidos por el analista. El uso del diseño de experimentos en el estudio de sistemas productivos logra evaluar independientemente la interacción de las variables del proceso con el objeto de mejorar su eficiencia operativa. El uso principal del diseño de experimentos es para analizar si existen iteraciones importantes entre los factores o alguna relación no lineal influyente (Sánchez et al., 2006. ISBN: 0925-5273) y (Montgomery, 2014).

Las interacciones en una organización pueden ser desde simples a complejas, hasta convertirse en una malla donde hay un flujo continuo de tangibles e intangibles que dependen unos de otros directamente relacionados con las necesidades de los clientes, tanto internos como externos (García P et al., Mejora continua de la calidad en los procesos, 2003). Con base en los escenarios de mejora planteados, la gerencia decidió implementar el número 2, puesto que cambiar la zona de carga y descarga del material propuesta en el escenario 3, imposibilitaría el acceso de los camiones, razón por la cual la retroexcavadora acercaría el material a la bloquera, y a partir del escenario 2, se planteó un DOE 2^2 con dos repeticiones (Tabla 5), con la siguiente información para establecer las condiciones ideales de fabricación.

Tabla 5. *Niveles del DOE* 2^2.

Factores	Nivel bajo (-1)	Nivel alto (+1)
Llegada de material	29	33.08
Llenado de tolva	22.19	23.19

Fuente: Elaboración propia.

Dichos experimentos se corrieron en el simulador con las 231 réplicas programadas para determinar los tiempos de proceso ideales y así obtener la mayor cantidad de blocks de primera y la menor cantidad de blocks de segunda, indicando que el escenario número dos está alineado a las necesidades específicas de la bloquera.

3.8 Toma de decisiones: Las organizaciones están ubicadas en un complejo contexto económico, político, tecnológico, social, cultural y demográfico, a los cuales debe adaptar sus estrategias para alcanzar el cumplimiento de los objetivos organizacionales. Así mismo, la necesidad en las organizaciones de realizar un diagnóstico interno, partiendo de la premisa de que toda la empresa posee fortalezas y debilidades en sus áreas funcionales, es esencial, pues en toda la organización existen elementos fuertes o débiles que deben identificarse (González et al., 2018). Por lo que, la gerencia considerando la distribución de la bloquera, el espacio disponible para carga y descarga de materiales, los costos que incurrirán en el cambio propuesto, mano de obra involucrada, retrasos en operaciones, y el tiempo que tardará en realizarse el cambio de la zona de materiales, decidió implementar el escenario número 2, donde la distribución y el tiempo disponible para fabricar los 1,000 blocks permanecen igual, solamente se elimina el desplazamiento del operador por el material (4 metros de distancia) dado que ahora la retroexcavadora acercará el material a la zona alta cerca de la tolva, para que el operador

haga la carga correspondiente con los contenedores calibrados.

La parte baja de la bloquera permaneció sin ningún cambio en su distribución y actividades (Figura 6).



Figura 6. *Distribución zona baja.*
Fuente: Elaboración propia.

En la zona alta, la retroexcavadora ahora acerca los materiales a la zona de tolva (Figura 7), para que el operador vacíe los materiales en sus cantidades correspondientes, considerando exactamente el 100% del material, es decir, evita el exceso de material para reducir el desperdicio del proceso.



Figura 7. *Distribución zona alta.*
Fuente: Elaboración propia.

4 Discusión y resultados

Los estudios experimentales de efectos fijos son utilizados para estudiar el efecto de ciertas variables controladas por el investigador, sobre una o varias variables de respuesta que representan a un fenómeno de interés. Esta metodología es la empleada para probar causalidad al fijar los niveles de las variables explicativas, en este caso llamadas factores, y evaluar los cambios generados sobre las variables de respuesta (Salazar y Baena Zapata, 2009), los experimentos 2^n son familias de ensayos con n factores y dos niveles dentro de cada uno de ellos que

generalmente representan intervalos de variabilidad muy amplios en estudios exploratorios (Pérez López et al., 2021). El objetivo principal de los experimentos diseñados es la realización de una prueba en la cual se inducen los cambios deliberados en las variables de entrada del proceso, de manera que sea posible observar las causas de los cambios en las variables de salida (Artamónova et al., 2010), y el Análisis de Varianza (ANOVA) es una herramienta estadística que permite valorar los factores significativamente estadísticos en el sistema, se basa en el enfoque en el cual el procedimiento utiliza las varianzas para determinar si las medias son diferentes. El ANOVA prueba la hipótesis nula que establece que todas las medias de la población son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente, para ello, si el valor p es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), entonces se concluye que la media es diferente (Devore, 2016) aunque los valores p enfatizan la certeza de los datos, son solo una lectura pasiva de una estadística, ya que se debe de probar y tener en cuenta lo bien que el experimento haya sido diseñado (Ledford, 2008). Tomando como factores el tiempo de llegada de material y el tiempo de llenado de tolva, se desarrolló del escenario 2 un DOE 2^2 con dos réplicas y 231 corridas, los resultados del ANOVA para los factores de interés fueron un valor p de 0.0 para la "Llegada del material" y un valor p de 0.37 para el "Llenado de tolva". Siendo así que la "Llegada de material" a la línea de la bloquera, es estadísticamente detectable (significa que hay menos del 5% de posibilidad de que el tiempo de llegada del material a la bloquera no afecte al proceso), ya que de este tiempo dependerá la cantidad de blocks obtenidos tanto de primera calidad como de segunda.

Las condiciones ideales para obtener la mayor cantidad de blocks de primera y menor cantidad de blocks de segunda fueron; nivel alto de "llegada de material" y nivel bajo de "llenado de tolva" (Figura 8).

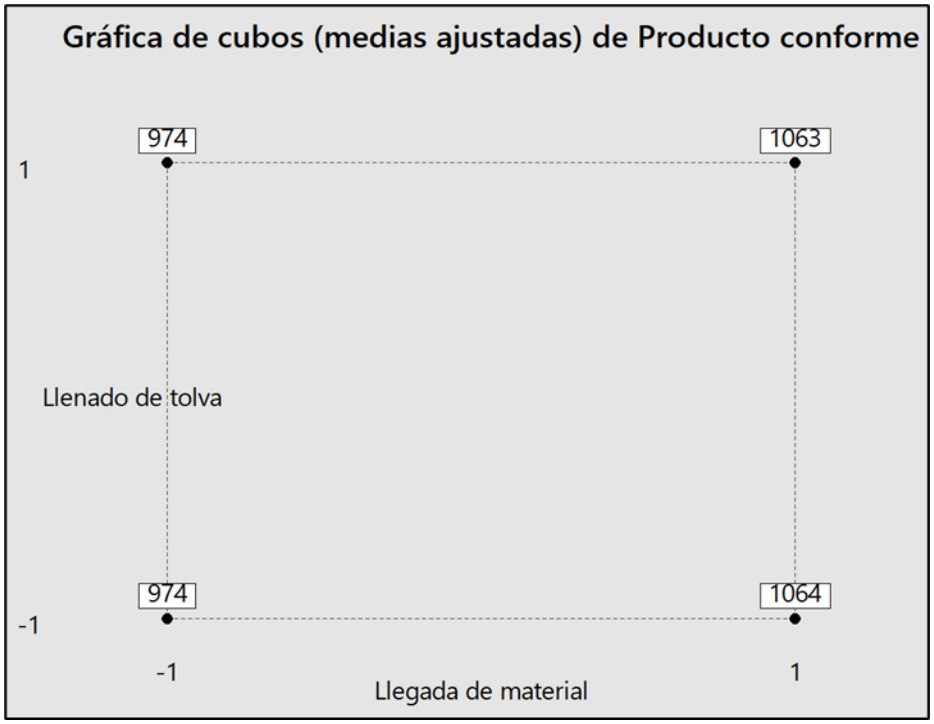


Figura 8. *Gráfica de cubos del producto conforme.*
Fuente: Elaboración propia.

Con la implementación del escenario 2 en la bloquera, se obtendría un incremento del 18.20% de la producción abasteciendo la demanda del cliente. Y para los blocks de segunda se estima el mismo 5% de productos. Teniendo como oportunidad de mejora la sustitución del mantenimiento correctivo (actividades de solución inmediatas a la falla para evitar que se produzcan pérdidas (Dounce, 1998)) por mantenimiento preventivo (actividades previas a la falla para garantizar la calidad en el producto o servicio y que continue dentro de los límites establecidos (García Córdoba, 2017)) para lograr disminuir el porcentaje de productos de segunda.

Tabla 6. *Resultados reales vs Escenario 2 (ajustado).*

Evento	Block 1ra	Block 2da
Proceso real	900	45
Escenario 2	1064	54

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica de efectos principales (Figura 9) muestra que el llenado de la tolva no es estadísticamente significativo ya que la línea es horizontal, asegurando que el valor de la respuesta no varía según el valor del predictor, contrariamente, para la llegada del material está presente un efecto principal, es decir, el valor de respuesta no es el mismo para todos los valores del predictor.

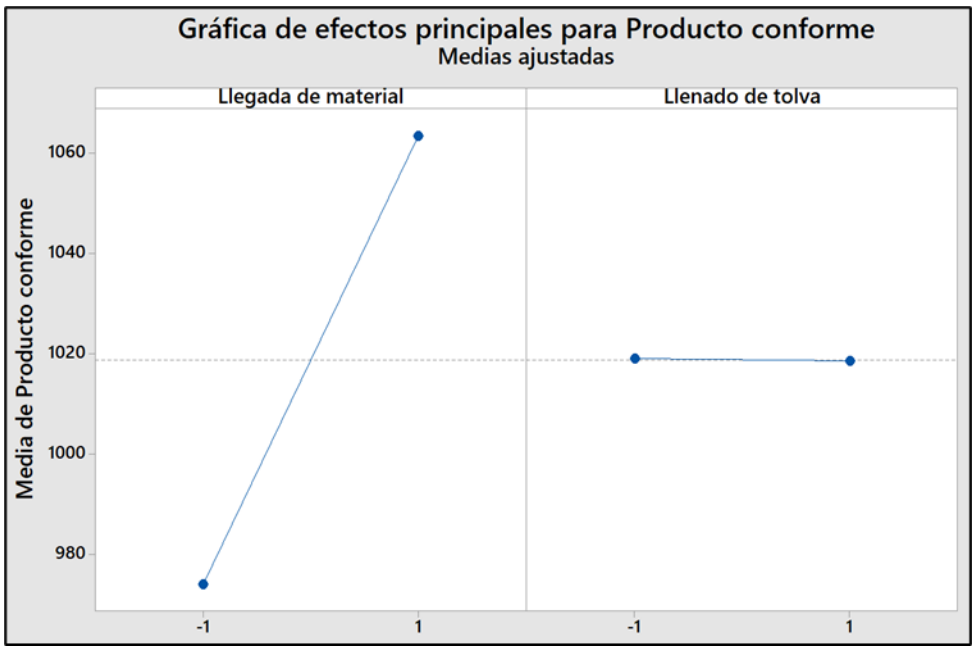


Figura 9. *Gráfica de efectos principales del producto conforme.*
Fuente: Elaboración propia.

Aunque el tiempo ideal de llegada de material sea el valor alto (30 segundos) está por debajo del *takt time* (35.28 segundos), sin convertirlo en cuello de botella. El uso de los contenedores calibrados para cargar la tolva con las cantidades necesarias, permiten eliminar el 2% de material desperdiciado en proceso. García (García P et al., Mejora continua de la calidad en los procesos, 2003) señala que la satisfacción del cliente se basa en su percepción de la calidad y está influenciada por las acciones que toma una organización, estas acciones se derivan de indicadores que evalúan la calidad de los procesos y que generan y contribuyen a su mejorarla. Implementar acciones sencillas en la resolución de problemas, permite mover rápidamente materiales e información creando un flujo continuo de modo que los problemas salgan a la superficie con mayor

rapidez para continuar con lo que en manufactura esbelta se conoce como mejora continua (Zarza Díaz et al., 2021). Siendo así el escenario número 2 aunque plantea una solución sencilla al problema, permite cumplir con la demanda y requisitos del cliente, sin comprometer recursos, tiempo y distribución de la bloquera para lograrlo.

La gráfica de contorno (Figura 10) permite observar cómo se relaciona la variable de respuesta (Producto conforme) con las dos variables predictoras (Llegada de material y llenado de tolva). Apreciando que se pueden obtener más de 1,060 blocks con el nivel alto de llegada de material y el nivel bajo de llenado de tolva, con lo que se pueden establecer las condiciones operativas deseables. Con el método propuesto se proyecta el trabajo de cada subproceso por debajo del *takt time*, es decir, maximizar la duración de procesamiento de las maquinas en estado activo (Roser et al., 2002). En otras palabras, sin interrupción, solo en espera de ser cargada la tolva para comenzar nuevamente la producción; sin embargo, dicha espera es indispensable para reiniciar el proceso en la bloquera.

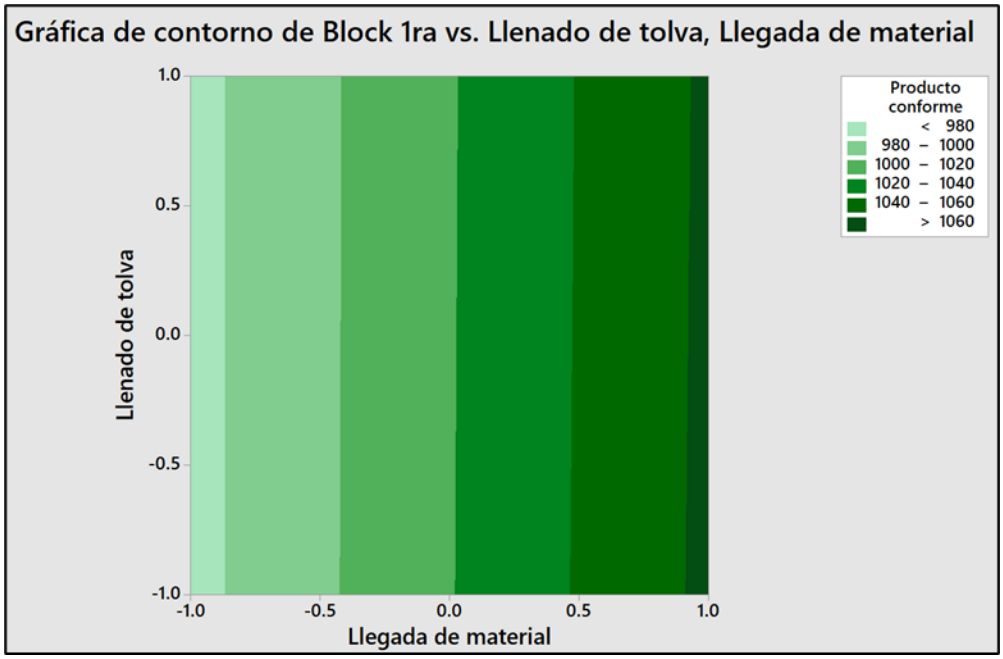


Figura 10. *Gráfica de contorno.*
Fuente: Elaboración propia.

Dado que las necesidades cambiantes del cliente hoy en día, así como los requerimientos tecnológicos actuales, obligan a las organizaciones a implantar iniciativas de mejora en sus procesos de producción con el fin de conseguir mejorar el desempeño operacional, con la característica primordial que dichos esfuerzos de mejora pueden ser pequeños, dramáticos o la combinación de ambos, siempre y cuando dichos esfuerzos sean continuos, es determinante para el éxito de la mejora continua, la activa, motivada y copiosa participación de los empleados (Monge et al., 2013).

Análisis de regresión

El modelo de regresión múltiple es la extensión del modelo de regresión simple a *k* variables explicativas. El modelo se utiliza cuando la variable dependiente *Y*, depende linealmente de cada una de las variables explicativas y cuando un regresor no basta

para explicar suficientemente la variabilidad de y (Carrasquilla Batista et al., 2016). Se determinaron las ecuaciones de regresión lineal múltiple, considerando como variables independientes la "Llegada de material (x_1)" y el "Llenado de tolva (x_2)" para estimar la cantidad de blocks de primera y blocks de segunda:

$$Block\ 1ra = 1018.75 + 44.75\ x_1 - 0.25\ x_2 - 0.25\ x_1 * x_2 \quad (\boldsymbol{Ec.3})$$

Donde:

$$x_1 = Llegada\ de\ material$$
$$x_2 = Llenado\ de\ tolva$$

Y para los productos de segunda se tiene

$$Block\ 2da = 44 + 10\ x_1 \qquad (\boldsymbol{Ec.4})$$

Donde:

$$x_1 = Llegada\ de\ material$$

Dado que los modelos de regresión lineal múltiple son uno de los métodos más utilizados para realizar análisis predictivos (Cardozo et al., 2010) con las ecuaciones anteriores, la gerencia podrá estimar la cantidad de blocks a obtener tanto de primer y segunda calidad con solo sustituir los niveles para las variables de "Llegada de material (x_1)" y "Llenado de tolva (x_2)".

Con todo lo anterior, una vez implementado el escenario de mejora número 2 en la bloquera, la cantidad total fabricada semanalmente supero la demanda del cliente de las 5,000 piezas, pudiendo fabricar hasta 5,400 blocks de primera calidad y reduciendo los blocks de segunda de 225 a 60 piezas semanales. En términos económicos se tiene un abastecimiento del 100% de la demanda con un valor de $67,500.00 semanales, eliminación del desperdicio en proceso en su totalidad y un costo total de blocks de segunda de $1,800.00 a $480.00, es decir un ahorro de $1,380.00 semanales.

5 Conclusiones

La simulación de eventos discretos es una herramienta que permite representar y estudiar un proceso real mediante un software en el que se pueden realizar experimentos en distintos escenarios con el objetivo principal de analizar los resultados obtenidos que permitan facilitar la toma de decisiones organizacionales con la comparación de los diferentes resultados de los indicadores principales del proceso. La simulación de procesos concede a las empresas el análisis de diferentes escenarios de mejora (apegados a su realidad) buscando la resolución de sus principales problemas reflejados en sus indicadores planteados.

Se establecieron las condiciones ideales del proceso de fabricación de blocks utilizando la retroexcavadora para eliminar el desplazamiento de 4 metros del operador hacia la zona del material de carga, así mismo se implementaron contenedores calibrados para cargar solamente el material necesario en la fabricación. Los tiempos ideales de proceso para la "Llegada de material" fueron de 33.08 segundo y el "Llenado de tolva" en 22.19 segundos, ambos por debajo del *Takt time*, con lo cual se asegura la eliminación de los cuellos de botella detectados.

Los resultados obtenidos del escenario número 2, permiten a la bloquera cumplir con

la demanda de sus clientes al 100%, pudiendo obtener ganancias de más de $67,500.00 pesos mexicanos. La eliminación del desperdicio en proceso posibilita a la bloquera con el ahorro de $1,125.00 semanales sin afectar la calidad de los bloques fabricados, finalmente, la reducción de producción de bloques de segunda ascendió al 26%, obteniendo un proceso con mayor flujo y capacidad de fabricación.

Finalmente, se presentaron las ecuaciones de regresión lineal múltiple, con las cuales se podrán estimar las cantidades de blocks de primera y segunda sustituyendo los niveles de cada uno de los factores. Dichas ecuaciones facilitan a la gerencia la toma de decisiones fundamentadas ofreciendo calidad en los resultados calculados.

6 Referencias

Artamónova , I., Fernández Henao, S., y Mosquera , J. (2010). Análisis del rendimiento de los estudiantes aplicando diseño de experimentos: caso particular. *Scientia Et Tecnhnica*, *XVI*(44), 78-83. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316014

Baquero Sanabria, B., Güiza Galeano, R., y García Marín, F. (2019). Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros. (F. U. Norte, Ed.) *Ingeniería y desarrollo*, *37*(2), 233-255. https://doi.org/https://doi.org/10.14482/inde.37.2.1624

Blanco Rivero, L., y Fajardo Piedrahita, I. (2003). *Simulación con Promodel.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Canavos , G. (1996). *Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos.* México: Mc Graw Hill.

Cardozo , O., Gutiérrez Puebla, J., y García Palomares, J. (2010). Influencia de la morfología urbana en la demanda del transporte público: análisis mediante SIG y modelos de regresión múltiple. *GeoFocus*(10), 82-102.

Carrasquilla Batista, A., Chacón Rodríguez , A., Núñez Montero , K., Gómez Espinoza, O., Valverde, J., y Guerrero Barrantes , M. (2016). Regresión lineal simple y múltiple: aplicación en la predicción de variables naturales relacionadas con el crecimiento microalgal. *Tecnología en Marcha*, 33-45. https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2983

CEMEX. (s.f.). *CEMEX España*. (CEMEX) Retrieved 30 de 07 de 2022, from https://www.cemex.es/productos-y-soluciones/clinker

Chryssolouris, G. (2006). *Manufacturing Systems: Theory and Practice.* New York: Springer-Verlag.

Correa, J. (2015). *Evaluación del efecto de la variación de la dosificación de agregado ligero de arcilla expandida en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto estructural aligerado.* Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Criollo, R. G. (2005). *Estudio del Trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo.* México: Mc Graw Hill.

De Lira Martínez, M., y Romero Guerrero, J. (2022). Comparación de técnicas utilizadas para la determinación de muestras necesarias para el estudio de tiempos. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, *10*(19), 30-41. https://doi.org/https://doi.org//10.29057/icbi.v10il9.9189

Devore, J. (2016). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias.* México: CENGAGE Learning.

Dounce, V. (1998). *La productividad en el mantenimiento industrial.* México: CECSA.

Ferrex. (2022). *Materiales de construcción*. Retrieved 30 de 07 de 2022, from https://www.materialesparaconstruccion.com.mx/productos/agregados/tepojal/

Figueredo Lugo, F. (2015). Aplicación de la filosofía Lean Manufacturing en un proceso de producción de concreto. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, IV*(15), 7-24. https://www.redalyc.org/pdf/2150/2150047546002.pdf

Frandson, A., Seppänen, O., y Tommelein, I. (2015). Comparision between location based management and takt time planning. *23 Ann. Conf. of the Int´l. Group for Lean Construction*, (pp. 3-12). Perth, Australia. www.iglc.net

Fullana Belda, C., y Urquía Grande, E. (2009). Los modelos de simulación: Una herramienta multidisciplinar de investigación. *Encuentros Multidisciplinares*(32), 1-11.

García Córdoba, M. (2017). Una polémica trascendental sobre el mantenimiento Preventivo y Predictivo. *Revista de Investigaciones Sociales, 3*(8), 1-11. www.ecorfan.org/republicofnicaragua

García P, M., Quispe A, C., y Ráez G , L. (2003). Mejora continua de la calidad en los procesos. *Industrial Data, 6*(1), 89-94. https://www.redalyc.org/pdf/816/81606112

García P, M., Quispe A, C., y Ráez G, L. (2003). Mejora continua de la calidad en los procesos. *Industrial Data, 6*(1), 89-94. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81606112

Gisbert, V. (2015). Lean Manufacturing. Qué es y qué no es, Errores en su Aplicación e Interpretación más Usuales. *Revista 3C Tecnología, 4*(1), 42-52.

Gómez Cabrera, A. (2010). Simulación de procesos constructivos. *Revista Ingeniería de Construcción, 25*(1), 121-141. www.ing.puc.cl/ric

Gómez Cabrera, A., Echeverry Hoyos, J., Giraldo Palma, M., Otálora Sánchez, C., y Cano Morales, M. (2012). Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un módulo programable para captura de imágenes y simulación digital. *Revista Ingeniería de Construcción, 27*(2), 35-53.

González Reyes, L., y Moreno Pino, M. (2016). Procedimiento para implementacion de un sistema de gestión de costos de calidad. *Ciencias Holguín, 22*(2), 1-14. https://www.redalyc.org/pdf/1815/181545579002.pdf

González, J., Salazar, F., Ortiz, R., y Verdugo, D. (2018). Gerencia estratégica: herramienta para la toma de decisiones en las organizaciones. *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, 21*(1), 242-267. https://doi.org/https://doi.org/10.36390/telos211.12

Hernández Díaz, M., Maravilla Tiburcio, J., García Ramírez, A., Téllez Zepeda, J., y Rodríguez Montoro, I. (2018).

Diseño de un Modelo de Simulación Discreta para proponer mejoras en el Área de Urgencias de un Hospital General en Veracruz. *Congreso Interdisciplinario de Ingenierías. Instituto Tecnológico Superior de Misantla.* Misantla, Veracruz.

Javier Herrera, O., y Abraham Becerra, L. (2014). Diseño general de las etapas de simulación de procesos con énfasis en el análisis de entrada. *12 th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.* Guayaquil, Ecuador.

Kelton, D., Sadowski, R., y Sturrock, D. (2008). *Simulación con software Arena.* México: Mc Graw Hill.

Lara Díaz, R., y Melgoza Alemán, R. (2009). Solidificación-Estabilización de Cromo, Níquel y Plomo en una Matriz Sólida de Hormigón Fabricada con Cemento Portland. *Información Tecnológica, 20*(1), 29 - 38. https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4029it.08

Ledford, H. (2008). Disputed definitions. *Nature, 455*(7216), 1023-1028. https://doi.org/10.1038/4551023a

Marques Dos Santos, M. (2011). *Estadística Básica un enfoque no paramétrico* . México: UNAM.

Monge, C., Cruz , J., y López, F. (2013). Impacto de la Manufactura Esbelta, Manufactura Sustentable y Mejora Continua en la Eficiencia Operacional y Responsabilidad Ambiental en México. *Información Tecnológica, 24*(4), 15-32. https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000400003

Montgomery, D. (2014). *Diseño y análisis de experimentos.* México: Limusa Riley.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación. (2005). Norma Mexicana. NMX-C-441-ONNCCE-2005. Industria de la construcción - Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural - especificaciones. México: ONNCCE.

Pérez López, D., Franco Martínez, J., Gutiérrez Rodríguez , F., Hernández Ávila, J., Balbuena Malgarejo, A., y González Huerta, A. (2021). Diseño de experimentos factoriales 2^n para su análisis con Infostat e Infogen. *Revista Mexicana de Ciencias Agricolas , 12*(6), 1087-1099.

Rodríguez Barrios, J., Serrano, D., Monleón, T., y Caro, J. (2008). Los modelos de simulación de eventos discretos en la evaluación económica de tecnologías y productos sanitarios. *Gac Sanit, 22*(2), 151-161. https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0213-91112008000200012&script=sci_arttext&tlng=pt

Roser, C., Nakano, M., y Tanaka, M. (2002). Shifting bottleneck detection. *Proceedings of the 2002 winter simulation conference.* Nagakute, Aichi Japan. https://doi.org/10.1109/WSC.2002.1166360

Salazar, J., y Baena Zapata, A. (2009). Análisis y diseño de experimentos aplicados a estudios de simulación. *Dyna*(159), 249-257.

Sánchez, S., Moeeni , F., y Sánchez, P. (2006. ISBN: 0925-5273). So many factors, so little time...Simulation experiments in the frequency domain. *International Journal of Production Economics, 103*, 149-165.

Schey, J. (2002). *Procesos de manufactura.* México: Mc Graw Hill.

Sulistio, A., Yeo, C., y Buyya, R. (2004). A taxonomy of computer-based simulations and its mapping to parallel and distributed systems simulations tools. *Software practice and experience , 34*, 653-673.

Tarbuck, E. (2005). *Ciencias de la tierra.* Madrid: Pearson.

Toirac Corral, J. (2012). Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la República Dominicana, su impacto en la calidad y costo de hormigón. *Ciencia y Sociedad*, *XXXVII*(3), 293-334. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024622003

Vanguardia. (2022). *Las bloqueras de México, un ejemplo para el mundo*. Retrieved 18 de julio de 2022, from https://vanguardia.com.mx/tech/las-bloqueras-de-mexico-un-ejemplo-para-el-mundo-NNVG3273196

Villaseñor Contreras, A., y Galidno Cota, E. (2007). *Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica.* México: Limusa.

Von Ronne, J. (2012). Simulation: Overview and Taxonomy. Presentation.

Zarza Díaz, R., Martínez Martínez, T., y Cruz Santiago, L. (2021). Control visual en una empresa textil para cumplir con los requisitos de calidad del cliente. *Ciencia Administrativa*(1), 1-8.