



*Optimización del proceso de toma de decisiones en el manejo de sustancias químicas en planta de distribución mediante modelación en programa Flexsim*

*Optimization of the decision-making process in the handling of chemical substances in the distribution plant through modeling in the Flexsim program*

*Otimização do processo de tomada de decisão no manuseio de substâncias químicas na planta de distribuição por meio de modelagem no programa Flexsim*

Eduardo Avila-Salazar <sup>I</sup>

[efavila@uce.edu.ec](mailto:efavila@uce.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-8878-8354>

Luis Escobar-Carvajal <sup>II</sup>

[lfescobar@espe.edu.ec](mailto:lfescobar@espe.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-8718-1390>

**Correspondencia:** [efavila@uce.edu.ec](mailto:efavila@uce.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\***Recibido:** 30 de Octubre de 2021 \***Aceptado:** 10 de Noviembre de 2021 \* **Publicado:** 23 de Noviembre de 2021

- I. Ingeniero Automotriz, Tecnólogo en Electromecánica, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- II. Master in Information, Production and Systems Engineering, Ingeniero en Mecatrónica, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

## Resumen

Se ha realizado el estudio con el objetivo de optimizar la toma de decisiones en una planta de producción y distribución de compuestos químicos, apoyándose con la herramienta de modelación llamado Flexsim. Se realizó la siguiente metodología: por medio de la metodología denominada DMAIC se propuso un procedimiento en el que se establece para cada fase las herramientas de modelación y toma de decisiones afín al proceso de producción de la empresa, se diseñó el proceso de producción estableciendo los puntos críticos y cuellos de botella que se originaron en el estudio. Posteriormente, se aplicaron cambios a los parámetros del procedimiento de producción y se reorganizó la maquetación de las instalaciones de producción de un compuesto definido, consiguiendo así la mejora del proceso de producción. A través del software de modelación de eventos discretos, Flexsim y de los procesos actuales, se obtuvieron los siguientes resultados: el tiempo total de los procesos que se emplean para la producción tuvo una mejora del 13,04%. El ciclo total de producción para una corrida inicial fue de 18,75 horas, con la modelación se redujo 3,28% del tiempo total, dando un valor de 18,14 horas. El uso de los equipos que aportan para la producción, como es el caso de montacargas se redujo en 16,28%. Como resultado, no sólo se mejora el manejo de los recursos y equipos, sino también los planes de producción que pueden ser optimizados por medio de la modelación.

**Palabras clave:** Flexsim; Seis-Sigma; manufactura; modelación.

## Abstract

The study has been carried out with the aim of optimizing decision-making in a plant for the production and distribution of chemical compounds, relying on the modeling tool called Flexsim. The following methodology was carried out: through the methodology called DMAIC, a procedure was proposed in which the modeling and decision-making tools related to the company's production process were established for each phase, the production process was designed establishing the critical points and bottlenecks that originated in the study. Subsequently, changes were applied to the parameters of the production procedure and the layout of the production facilities of a defined compound was reorganized, thus achieving the improvement of the production process. Through the discrete event modeling software, Flexsim and the current processes, the following results were obtained: the total time of the processes used for production had an improvement of 13.04%. The total production cycle for an initial run

was 18.75 hours, with modeling 3.28% of the total time was reduced, giving a value of 18.14 hours. The use of the equipment they contribute to production, such as forklifts, was reduced by 16.28%. As a result, not only the management of resources and equipment is improved, but also the production plans that can be optimized through modeling.

**Keywords:** Flexsim; Six-Sigma; manufacture; modeling.

## Resumo

O estudo foi realizado com o objetivo de otimizar a tomada de decisão em uma planta de produção e distribuição de compostos químicos, contando com a ferramenta de modelagem chamada Flexsim. Foi realizada a seguinte metodologia: por meio da metodologia denominada DMAIC, foi proposto um procedimento no qual foram estabelecidas para cada fase as ferramentas de modelagem e tomada de decisão relacionadas ao processo produtivo da empresa, o processo produtivo foi desenhado estabelecendo os pontos críticos e gargalos que originado no estudo. Posteriormente, foram aplicadas alterações aos parâmetros do procedimento de produção e reorganizado o layout das instalações de produção de um conjunto definido, conseguindo-se assim a melhoria do processo produtivo. Por meio do software de modelagem de eventos discretos, Flexsim e dos processos atuais, foram obtidos os seguintes resultados: o tempo total dos processos utilizados para produção teve uma melhoria de 13,04%. O ciclo total de produção para uma corrida inicial foi de 18,75 horas, com modelagem de 3,28% do tempo total foi reduzido, dando um valor de 18,14 horas. A utilização dos equipamentos com que contribuem para a produção, como empilhadeiras, foi reduzida em 16,28%. Como resultado, não apenas o gerenciamento de recursos e equipamentos é aprimorado, mas também os planos de produção que podem ser otimizados por meio de modelagem.

**Palavras-chave:** Flexsim; Six-Sigma; manufatura; modelagem.

## Introducción

Al presentarse las condiciones favorables de producción y manejo de materiales dentro de las empresas industriales, se crea un ambiente óptimo para que la transformación de la materia prima en producto terminado beneficie a los intereses de los involucrados en el desarrollo productivo. No todas las empresas definen clara y formalmente sus procesos, ni tiempos para la

elaboración y transformación en productos terminados; si bien es cierto no todos los procesos son creados o destinados para la fabricación de un solo producto y a eso la falta de organización dentro de las instalaciones, hace que los productos no sean de buena calidad, el mejorar los estándares de los procesos se traduce en aumento de ingresos, mejor posicionamiento en el mercado, satisfacción del cliente y empleados involucrados. (Sandoval Vasquez , 2020). Es ahí que se debe priorizar los procesos que sean más importantes o que denoten un trato especial. Dado las exigencias de un mundo que se actualiza constantemente, las pequeñas y grandes empresas buscan elevar su nivel de posición frente a sus competidores y por ello su enfoque va siempre dirigido a mejorar su productividad. (Sanchez & Sanchez Delgado, 2017).

La determinación de los espacios y lugares destinados a cada uno de los materiales, elementos o métodos integrados también tiene mucha relación con los procesos a los que dichos elementos tengan participación dentro de cada proceso. El problema de la distribución de los lugares dentro de las instalaciones en un entorno de fabricación se define como las ubicaciones relativas y la asignación del espacio disponibles entre un número determinado de estaciones de trabajo. Sin lugar a duda de donde se destine la ubicación de los elementos, darán como resultado condiciones idóneas para la producción.

El efecto de un diseño de distribución determinado en la función de producción del método de fabricación es más que solo el costo de manipulación de materiales. Si bien el costo del manejo de materiales sigue siendo crítico, los tiempos de ciclos más cortos se han vuelto mucho más importantes en los métodos de fabricación actuales (Azadivar & Wang, 2000), según lo expresa por Azadivar, los costos de fabricación también dependerán de cómo se optimice el manejo de los materiales, relación de puesto de trabajo y ciclo de producción por producto.

El modelo de competencia de la industria manufacturera tradicional centra su comportamiento en el tamaño y la calidad, sin embargo la industria manufacturera moderna condiciona su atención a la velocidad, respuesta y eficiencia (Wang & Chen, 2016).

La aplicación del método de mejora continua como es Seis Sigma a través de su estrategia DMAIC (Define, Measure, Analize, Improve, Control) se puede mejorar un proceso o producto existente, al llevar a cabo las 5 fases del proceso. Las empresas que han optado por aplicar esta metodología han visto la implementación como una inversión en lugar de un gasto. (El-Haik & Al-Omar, 2006). La metodología seis-sigma es una medición que proporciona negocios o

empresas con perspectivas y herramientas para lograr nuevos niveles de rendimiento, en cualquier giro que tenga el negocio.

En función de las condiciones que la industria demanda hoy en día, la producción moderna promueve la realización de procesos discretos complejos y en conjunto con la participación de las nuevas tecnologías de la información y comunicación. La actualidad de los programas de modelado y modelación benefician la logística de producción, brindando elementos y parámetros para optimización de los procesos de producción, con el objetivo de manipular, prevenir y mejorar el o los problemas que pueden ocurrir en operación real (F. Zhang & Tian, 2017), (Peng, 2011).

El objetivo principal de esta investigación es presentar al público la aplicación de la metodología Six-sigma y sus fases para lograr estandarizar y mejorar los procesos, optimizar los recursos que se utilizan en la empresa de distribución por medio de la necesidad del uso de proceso de fabricación a través de la construcción de modelos de modelación de eventos discretos del método de producción.

### **Fuentes Materiales Y Métodos**

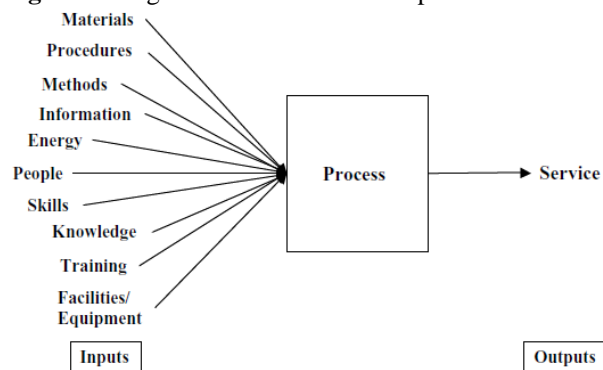
En las condiciones óptimas de crear espacios idóneos para la producción algunos entendidos citan lo expuesto por Bacalla, la ubicación de los elementos y equipos de una planta industrial está relacionada con cuatro factores fundamentales: la distancia a los recursos naturales, la distancia al mercado, los costes de mano de obra y las economías de aglomeración (Bacalla et al., 2014). Por otro lado según Bacalla, el papel de la toma de decisiones y las variables económicas, con el fin de ajustarse aún más a la realidad hace que cada competidor adopte una estrategia entre las varias posibles, para poder elegir la localización adecuada (Bacalla et al., 2014).

Uno de los aspectos que más influye en el ciclo de un proceso dado es el tiempo dedicado a las acciones de transporte entre unidades de producción. El tiempo de traslado o transporte, el cual es tiempo no productivo, se puede reducir de varias formas. En función del diseño que la planta tenga, se puede replantear la ubicación física de los elementos de método de producción de la organización.

## Método de Seis sigma DMAIC

La metodología Seis sigma está enfocada en el aprovechamiento de los recursos para lograr nuevos y mejores niveles de desarrollo en cualquier negocio u organización. Se debe enfocar al proceso como un método de entradas, actividades y salidas, y que, al proporcionar el aprovechamiento total, todos los factores decantan de una manera que resulta crear valor o gasto. Como se observa en la figura 1, comúnmente al referenciar el proceso antes descrito se lo denomina IPO (input-process-output)

**Figura 1** Diagrama IPO de entradas – procesos – salidas



**Nota:** la imagen representa como se referencian las entradas y convergen en una salida, a través del proceso. Tomado de *Simulation-based lean six-sigma and design for six-sigma* (p. 8), por E. Basem, 2006, John Wiley & Sons.

El método de Six sigma se basa en el ciclo propuesto por Deming, como se observa en la figura 2 cuya operación tiene las siguientes pautas.

**Figura 2** Método Six sigma de la mejora continua



**Nota:** En la imagen se muestra los pasos para determinar el método six sigma para la organización. Tomado de *La metodología Seis Sigma para la mejora de procesos*, por LeanSherpa, 2018, <https://leansherpa.es/la-metodologia-seis-sigma-para-la-mejora-de-procesos/>.

La implementación de la metodología de seis sigma está enmarcada en las siguientes 5 fases determinadas rápidamente a continuación:

- Definición de proyecto que debe estar enfocado en las necesidades y requerimientos de los clientes, las causas de los problemas que van en desmedro de la calidad del producto final o del servicio prestado.
- Medición de la información de los datos que se obtiene del proceso y los clientes de la organización, de las variables críticas del proceso con un especial interés en las etapas o fases que conforman las acciones de la organización.
- Análisis de los datos donde se aplica y utiliza herramientas estadísticas útiles que conduzcan a soluciones validas y efectivas.
- Mejoramiento, en etapa se proponen las posibles soluciones de los problemas encontrados posterior del análisis.
- Control por medio del cual incluye los métodos estadísticos, con seguimiento constante, que evalué las diferentes actividades que se enfoquen en la solución a mediano o largo plazo de problema de calidad.

### **DES software**

La metodología de modelación se utilizan desde hace décadas, son utilizados para describir, investigar y diseñar métodos económicos y sociales. En este sentido la modelación como tal es la representación real del método, la comprensión del comportamiento del método, la evaluación virtual de las posibles consecuencias de las acciones. (Beaverstock & Greenwood, 2011)

Las DES (Discrete Event Simulation), son herramientas de modelación que permiten crear un modelo del método en el ordenador que permiten experimentar sin afectar negativamente al método real.

Entre los softwares disponibles en el mercado, dedicados a la modelación de la forma de manufactura y montaje, están: Flexsim, Arena, Tecnomatix, AnyLogic, Witness, etc., se basan en eventos discretos, pero también tiene la particularidad de controlar las tareas. Sin embargo, su principal tarea es modelar el conocido proceso de flujo, centrándose en lo que fluye a través del proceso.

Las DES han hecho que el paradigma de la industria 4.0 genera más confianza. Al termino de mejorar la eficiencia, la flexibilidad, productividad, visibilidad, la calidad de los productos y servicios, de la misma forma facilitar la toma de decisiones de manera descentralizada de los procesos. (Dalmarco et al., 2019), de esa forma convirtiendo a las viejas y nuevas empresas en métodos “inteligentes”. La industria 4.0 desencadenará cambios que afecten al manejo de los materiales y logística interna, por medio de la calidad de los materiales y las TICs, la robótica y los datos en la nube, RFID, vehículos autónomos guiados. (El Zaatari et al., 2019).

La mejora y la implantación de nuevos mecanismos inmersos en la industria 4.0 son méritos obvios de sí mismo, pero la implementación tiende a ser intrínsecas complejas, tanto surge la necesidad experimentar con entornos controlados, para que se logre los objetivos específicos. Dicha necesidad es satisfecha en gran medida por las adaptaciones de software de modelación de eventos discretos (DES).

El empleo de la modelación en su función de diseño tradicional es capaz de presentar una empresa “inteligente” con una gran ventaja competitiva durante el desarrollo, despliegue y ejecución de sus planes y estrategias (Agalianos et al., 2020). Las simulaciones se logran mediante la virtualización de cada uno de los procesos que tenga el método con el uso de herramientas y prueba de modelos virtuales; con esto los simuladores ayudan con: i) predecir rendimiento, latencia del método, utilidad y cuellos de botella, ii) dar a conocer cómo actúan los equipos y elementos del método, iii) generando datos de corridas y evaluando los diversos escenarios, iv) proporcionar una base a medida que la configuración va cambiando, v) servir como un valioso medio de modelación y resultado previo, vi) apoyar a la toma de decisiones (Gunal, 2019).

La modelación de eventos discretos es una forma de modelado basado en un método como una secuencia discreta de eventos. Una de las ventajas de los DES es que permite la experimentación con cualquier elemento de un método empresarial. (X. Zhang, 2018). El termino discreto hace referencia a la modelación avanzando en el ciclo en diversos intervalos según sea la disposición o corrida del método que se vaya a analizar.

## **Metodología**

### **Aplicación DMAIC**



El método de Six sigma es un método bastante general (de Mast & Lokkerbol, 2012), La metodología de DMAIC originalmente era utilizada para tareas de domino, posteriormente y con el transcurso del tiempo fue incrementando su validez dentro de las condiciones de funcionamiento de una organización.

- **Fase: Definir**

Esta fase es quizás una de las más importantes, en la cual se plantea la razón del proyecto, dentro del cual incluye el problema, beneficios esperados, alcances, equipo de trabajo y línea de tiempo del proyecto. En esta parte también se define los requerimientos del cliente, teniendo en consideración que se trata de dos clases de clientes, los internos y los externos. Por finalizar esta fase se señala los límites de proceso, las entradas y salidas y los procedimientos para recolección de información (El-Haik & Al-Omar, 2006).

- **Fase: Medir**

En la medición se debe asegurar que los datos sean los mejor bien hechos, de eso depende que el análisis sea rápido y concreto. Del mismo modo al analizar los datos se observa una importante variación en comportamiento de los datos en el transcurso de tiempo se debe poner atención a la razón de la inestabilidad antes de intentar mejorar el proceso. (El-Haik & Al-Omar, 2006)

- **Fase: Analizar**

Es esta fase, ya con los datos organizados y relacionados con la temática del proyecto, se analiza mediante gráficos o dashboard que son resultado de las variaciones de los datos en el transcurso del tiempo. Tanto gráficos de entradas como salidas del proceso deben ser analizadas. Esto se lo hace mediante un conjunto de análisis estadístico. Al realizar el respectivo análisis se pueden utilizar varias formas como pruebas de hipótesis, intervalos de confianza y proyección del diseño experimental para determinar la relación estadística y practica de los factores de salida en el proyecto (El-Haik & Al-Omar, 2006).

- **Fase: Mejorar**

En la fase de mejorar se muestran los posibles escenarios de solución, es de vital importancia que para que se llegue a este punto el método de análisis de mediciones se haya enfocado en el factor de los ingresos o entradas del proceso. Como final de la fase, para validar las soluciones

se ejecuta una modelación piloto del proceso con el mejoramiento determinado, y así comparar el proceso inicial con el mejorado.

- **Fase: Control**

En el control se determina las estrategias de control que fueron obtenidas del nuevo mapa de procesos, los modos de fallas y efectos y detallar los planes de control. Considerando que al mejorar proceso de deben implementar punto de control en los que deben involucrarse a los todos los involucrados en el proceso.

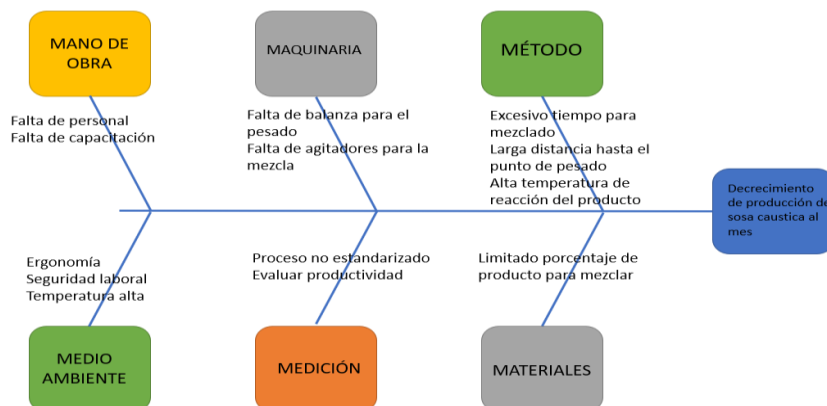
En definitiva, la utilización del método DMAIC permite a la empresas u organización lograr mejora y que, a través de los equipos de diseño, tomar decisiones por medio del análisis estrategias de estadística para que el requerimiento de los clientes, internos y externos, hayan sido satisfechos.

**Caso de estudio**

**Problema (Definir)**

El análisis que se emplea para planteamiento del problema en función al decrecimiento o reducción de la producción de producto al mes se fundamenta conforme al diagrama de Ishikawa de la figura 3.

**Figura 3** Diagrama de Ishikawa de la organización



**Nota:** En la imagen se muestra las causas y efectos que se relacionan con el proceso de producción antes de la toma de decisiones.

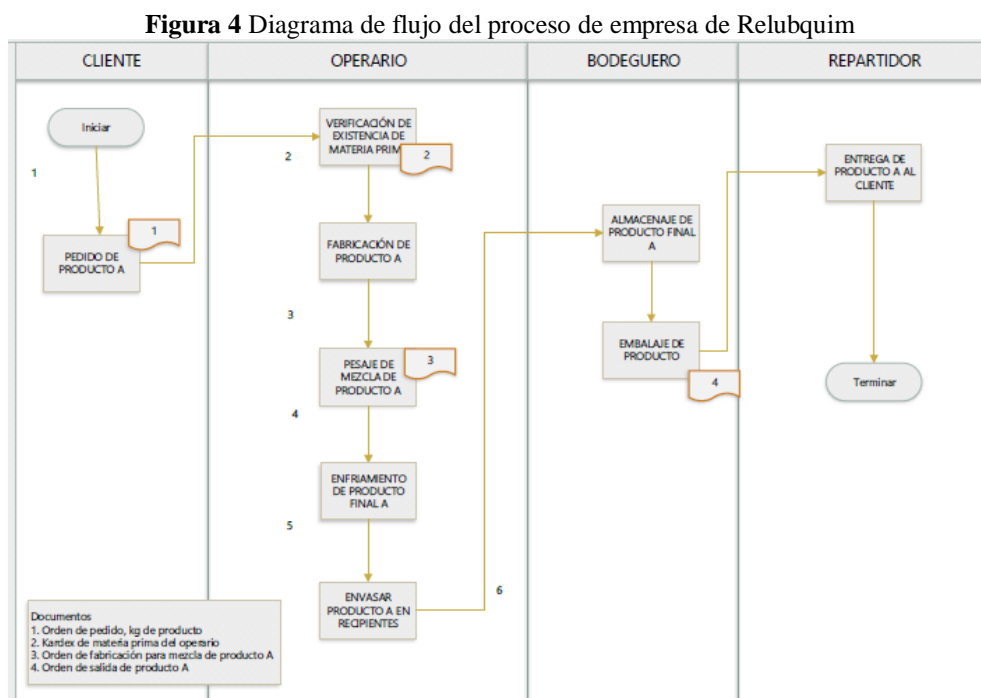
Básicamente se evidencia los puntos críticos que van en desmedro de la producción al mes de la planta de fabricación, mucho tiene que ver la falta de mano de obra calificada, falta de recursos

o equipos en la empresa, distancias amplias de un punto a otro, procesos no estandarizados y limitado porcentaje de producto para mezclar entre otros.

### Levantamiento de información (Medir)

Mediante la toma de información por intermedio de entrevistas a trabajadores y operarios de la planta distribuidora de Químicos Relubquim ubicada en la ciudad de Quito, se logró identificar y determinar las partes y situación de inicio del proceso como tal.

El ciclo y el nivel de proceso determina la calidad de producto A, y también al ser complejo denota un número excesivo de puntos, estaciones o subprocesos. Esto relaciona segregar el inicio y final del proceso porque no presentan complejidad para el análisis, con esta premisa el proceso se reduce al que se muestra en la figura 4.



**Nota.** El gráfico representa el diagrama de flujo que se pretende establecer para estandarizar el proceso de producción.

Al tener claro cómo están dispuestos los puntos detallados mediante el diagrama de flujo, el proceso de cliente-vendedor como también el de bodeguero y repartidor no representan un motivo nato de optimización, más aún el proceso de operario es el que requiere el análisis y se elige para la optimización de la logística de manufactura y para mejorar la eficiencia operativa.

El proceso empieza con la solicitud o pedido de producto, la misma que la recepta la persona encargada del departamento de ventas de la empresa. Se vende la cantidad de 20 toneladas mensuales que son requeridos por los clientes, estos son cuantificados por medio de los pedidos mensualmente hechos. Dicho documento de pedido pasa hacia el responsable de la planta, el cual revisa su control y verifica existencia de materia prima para el proceso de fabricación.

En la tabla 1 se observa los valores correspondientes a los elementos que se requieren para la fabricación de un producto.

**Tabla 1** Equipos y elementos para una corrida de producción

Item	Cantidad	Capacidad	Unidad
Lote de fabricación	de 6,720		KG
Envases - tanques	26	260 KG	U
Trabajadores	1		U
Montacargas	1	3	TON
Pesa	1	3	TON

**Nota.** En la tabla se observan los elementos que son necesarios para una corrida de producción del compuesto para fabricación.

El inicio de un lote de producción comienza con el requerimiento u orden trabajo, teniendo en consideración que por cada proceso se fabrican 6.720 kg. El operario o responsable de la producción del compuesto comienza con el llenado de los tanques de plástico con agua, a continuación, adhiere la materia prima en cada envase y procede a mezclar con la ayuda de un agitador eléctrico. Ver Tabla 2.

**Tabla 2** Lista de procesos y tiempos de producción

Proceso	Tiempo	Unidades
Llenado de tanques	8	Horas
Mezclado de producto	360	Minutos
Pesado de compuesto	160	Minutos
Reposo del compuesto	48	Horas
Proceso fabricación	1,196	Minutos

**Nota.** En la tabla se observa los tiempos que demora en realizar cada proceso en la corrida de producción.

Una vez que el producto es mezclado por medio de agitadores eléctricos pequeños, el compuesto reacciona al mezclarse con agua, lo que provoca una elevada temperatura de alrededor de 80 a 90 °C, eso teniendo en consideración la concentración o el porcentaje de mezcla que se requiere, por tal razón, este valor es de 50% de materia prima y 50% de agua. Este control de temperatura no se le hace con algún dispositivo electrónico, sino más bien por medios manuales.

Al tener el producto A ya fabricado, se lo debe pesar, esto por medio de montacargas que desplazan el recipiente de plástico, desde su punto de fabricación hacia el lugar donde se encuentra la pesa. La distancia que esta un punto del otro es de 40 metros, lo que representa un tiempo total de pesaje de los 26 recipientes de 16 minutos.

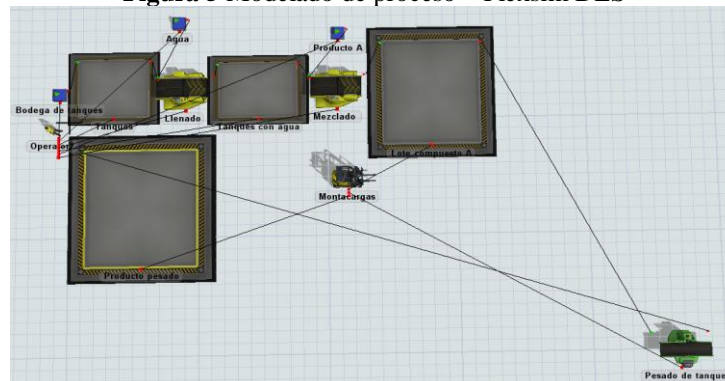
Posterior a la verificación de peso, se debe dejar en reposo el compuesto para que se enfríe. Para este proceso se deja reposar un tiempo de 48 horas día al ambiente. Al término de este tiempo y verificando nuevamente la temperatura, se trasvasa a otro recipiente el cual será el que se entregue al cliente final como se puede verificar en la tabla 2.

Con esto se tiene un ciclo promedio de fabricación de producto A de alrededor de 1.196 min un equivalente de 2,49 días, a esto se debe adherir o sumar el tiempo que demora en enfriarse al compuesto, lo que da un total de 4,49 días trabajador. Es decir que para una corrida de producción se necesita casi una semana de trabajo, y se obtiene 6.7 toneladas de producto A.

### Modelado en Flexsim (analizar)

La herramienta de modelación de eventos discretos que se utilizó para este proceso es Flexsim. Según los datos y parámetros analizados en sitio se diseñó el siguiente proceso como muestra la figura 5.

Figura 5 Modelado de proceso – Flexsim DES



**Nota.** En la figura se observa el proceso desarrollado en el DES para establecer condiciones virtuales y toma de decisiones.

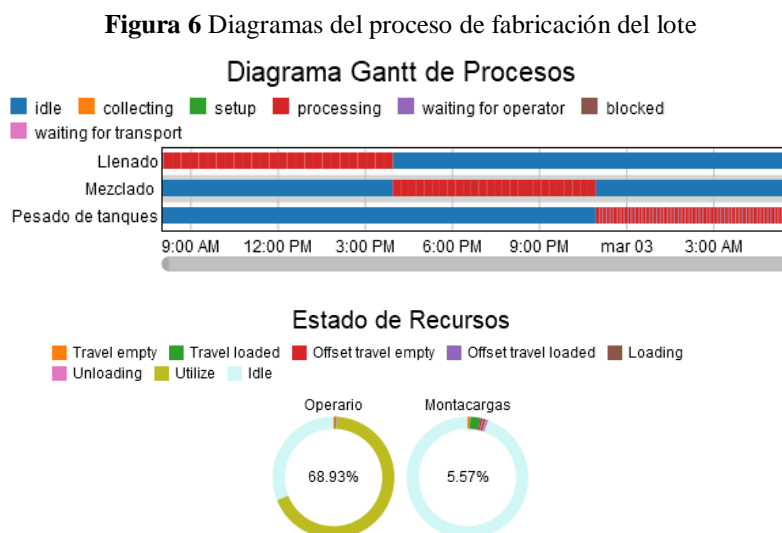
En imagen y al no tener un proceso definido, se hizo referencia al método o pasos que siguen para realizar un compuesto o lote de fabricación. Se observan definidos los pasos que cumple el operario en una corrida de fabricación.

Dentro de la modelación y teniendo en cuenta la metodología DMAIC, el primer paso es definir bien y claro los elementos de entradas y los de salida. Al entender la metodología se tiene como entrada a los pedidos de fabricación y como salida al producto terminado y almacenado, así también los recursos que ingresan a medida que el lote de fabricación avanza en el tiempo.

Al tener definido los pasos que en lo posterior serán los procedimientos del proceso, y que, al valerse del seguimiento local del proceso de fabricación, y al diseñarlo con la herramienta confirmar los datos se procede a dar a conocer los datos obtenidos por la modelación:

Para los procesos de llenado y mezclado solo un operario los hace, para el proceso de pesado de lote, se utiliza un montacargas en es manejado por el mismo operario.

Se representa en la figura 6 los datos que dan cada proceso que el lote de fabricación desarrolla.



**Nota.** En las imágenes se muestran los datos que el programa Flexsim muestra en un corrida total del proceso de producción del lote de compuesto químico de la empresa, al trasladarlo al simulador.

En la figura 7 se observa el recorrido total que recorre el montacarga en toda la corrida de producción, desde el punto de mezcla hasta el punto de pesado del producto. Dicho dato esta en unidad es de metro.

**Figura 7** Recorrido total del montacarga en el proceso

### DISTANCIA RECORRIDA MONTACARGAS

Object	Distance
Montacargas	4986.94

**Nota.** En la figura se observa cuando recorre el montacarga a través de puntos del proceso de producción en los cuales esta inmerso el mismo.

**Tabla 3** Tiempos de cada proceso del DES

Object	State	Time	Units
Llenado	Processing	28080	s
Llenado	Collecting	205,79	s
Llenado	Idle	49714,21	s
Mezclado	Processing	24960	s
Mezclado	Collecting	176,6	s
Mezclado	Idle	52863,4	s
Pesado de tanques	Processing	9320	s
Pesado de tanques	Idle	58849,42	s
Pesado de tanques	Waiting for transport	430,58	s

**Nota.** En la tabla se observa los tiempos que se generan en la primera corrida sin ningún tipo de mejora.

Según las gráficas y los datos de la tabla 4 que fueron expuestos, cada proceso que corresponde para la fabricación de un lote de compuesto A.

1. Los tiempos que demanda el proceso de llenado y mezclado son altos, y más aun tomando en cuenta que para este paso solo se tiene un operario.
2. Al llenar todos los tanques el operario demora un tiempo de 28.080 segundos, los que equivale 7,8 horas
3. El paso de mezclado una vez puesta el agua en el tanque, con el producto A, se lo hace con un agitador eléctrico, lo que para completar un lote demora 24.960 segundos lo que equivale a 6,93 horas.
4. La parte del pesado del compuesto el tiempo que se requiere es de 9.320 segundos lo que equivale a 2,58 horas, pero esto es sin tener adicionar el tiempo que se desperdicia por el movimiento que corresponde a inicio del proceso que son 7 minutos adicionales.

5. Cabe mencionar que los tiempos de ocio o sin actividad es que porque cada recurso queda sin efecto una vez que cambia un proceso diferente.
6. El recorrido que tiene el operario es de 911 metros, mientras que el recorrido del montacargas es de 4986,94 metros, equivalente a 4,9 km.

**Controlar**

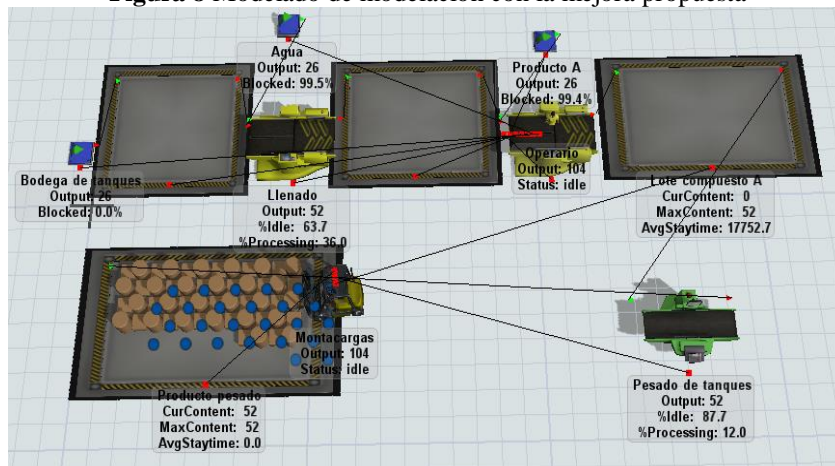
**Mejora propuesta con Flexsim (mejorar)**

Para cumplir los pasos de DMAIC, se establece la parte de la mejora, por medio de revisar, reformar u optimizar los recursos que tiene el proceso. Para esto y, en función del modelo que se diseñó para la modelación, además que, al utilizar los recursos de simuladores de eventos discretos, la reforma que se establece va de la siguiente forma:

**Modelo de esquema mejorado**

Para la propuesta de mejora es la de reducir la distancia que existe entre el punto de proceso de mezclado con el punto de pesado de producto, como se observa en la figura 8.

**Figura 8** Modelado de modelación con la mejora propuesta



**Nota.** En el gráfico se observa la modificación al diseño primario para la toma de decisiones. En la modelación se presentaron los siguientes datos en la tabla 5.

**Tabla 4** Tiempos de cada proceso en primera mejora

Object	State	Time	Units	Utilization
Llenado	Processing	28080	s	36,26%
Llenado	Collecting	205,79	s	36,26%



<b>Llenado</b>	Idle	49714,21	s	36,26%
<b>Mezclado</b>	Processing	24960	s	32,23%
<b>Mezclado</b>	Collecting	176,6	s	32,23%
<b>Mezclado</b>	Idle	52863,4	s	32,23%
<b>Pesado de tanques</b>	Processing	9360	s	24,00%
<b>Pesado de tanques</b>	Idle	68380	s	24,00%
	Waiting for			
<b>Pesado de tanques</b>	transport	260	s	24,00%

**Nota.** En la tabla se observa los puntos críticos generados del DES para la modificación del diseño primario.

**Figura 9** Distancia total recorrida por el montacarga

### Lift Truck Total Travel

Object	Distance
Montacargas	1679.07

**Nota.** En la figura se observa la distancia recorrida total por el montacarga luego de la modificación hecha en el simulador Flexsim.

En la modelación de la primera mejora, los procesos de llenado y mezclado no se afectan, sin embargo, para el proceso de pesado si hay un cambio:

1. Aumento de tiempo inactivo del proceso, 68.380 segundos, lo que equivale a 18, 99 horas.
2. Disminución del tiempo de espera en el transporte entre tanque y tanque, 260 segundos, equivalente a 4.33 minutos.
3. La distancia que recorre el montacargas disminuyo a un valor de 1679,07 metros equivalentes a 1,67 km, como se observa en la figura 9.
4. El tiempo que demora en producir un lote de compuesto dado por la modelación es de 1040 minutos.

## Discusión

La integración de la metodología DMAIC con la modelación de eventos discretos permite obtener resultados favorables para realizar mejoras en los procesos de producción.

De los datos alcanzados en la modelación acerca del tiempo total de los procesos activos dentro de corrida de producción, se obtuvo una disminución del 13,04%, lo que en valor representa 2,6 horas menos para una corrida total de producción.

Asi mismo el tiempo empleado por el equipo adicional del proceso como es el montacargas, que no solo es utilizado para este proceso sino también para otros dentro de la empresa, se redujo en 16,28% lo que en valor representa cerca de 36,93 minutos.

El tiempo total de la corrida de producción, con procesos activos y tiempos muertos se redujo en 3,28% lo que en valor representa 36,6 minutos.

La modelación de procesos permitió dar solución de forma óptima y sin incurrir en gastos económicos, sino hasta que se evaluó y propuso la mejora a la empresa, con esto se prevé que la empresa al producir al mes un lote de compuesto químico debía emplear 1196 minutos equivalente a 2,49 días; con la modelación hubo una reducción de 2,16 días, lo que en cifras es un ahorro del 2 horas y 39 minutos. La organización puede adecuar mejor sus tiempos de entrega de productos y preste un mejor servicio a sus clientes futuros. Básicamente para alcanzar estos resultados se propone la adquisición de una segunda pesa industrial, y que sea ubicada a una distancia no mayor de 3 metros.

Con la aplicación de estas técnicas, DMAIC y simulador Flexsim, en un método de producción que no posee un procedo definido, permitió modificar los puntos y ubicaciones de las estaciones de trabajo para distribuirlos de mejor manera, lo que da como resultado que se reduzcan los tiempos y se agilice los procesos, asi mismo del recurso humano para evitar tiempos muertos o subutilización de la maquinaria o equipo dentro de la línea de producción.

Un punto importante que se debe mencionar es que al tener ya simulado el proceso es posible que, para gestiones futuras, se consiga mejorar los proceso de los puntos de producción, por medio la herramienta virtual y tener una mejor perspectiva del cambio que origine hacer la modificación.

## Referencias

1. Beaverstock , M., & Greenwood, A. (2011). Applied Simulation. Modeling and Analysis using Flexsim. Orem, USA.
2. de Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of. International journal of Production Economics, 604-614.

3. El-Haik, B., & Al-Omar, R. (2006). *Simulation based lean six-sigma and design for six-sigma*. New Jersey: Wiley-Interscience.
4. Sanchez, A. A., & Sanchez Delgado, A. A. (2017). Aplicación de la estandarización de procesos para mejorar la productividad en el área de hilandería de la planta textil industrial Cromotex SA. Retrieved from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/12564>
5. Sandoval Vasquez, H. (2020). Estandarización de procesos en una empresa de lácteos para mejorar la producción de queso fresco.
6. Agalianos, K., Ponis, S. T., Aretoulaki, E., Plakas, G., & Efthymiou, O. (2020). Discrete Event Simulation and Digital Twins: Review and Challenges for Logistics. *Procedia Manufacturing*, 51, 1636-1641. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.228>
7. Azadivar, F., & Wang, J. (2000). Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms. *International Journal of Production Research*, 38(17), 4369-4383. <https://doi.org/10.1080/00207540050205154>
8. Bacalla, J., Leyva, M., & Fiestas, A. (2014). Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial. *Industrial Data*, 17, 112. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i2.12056>
9. Dalmarco, G., Ramalho, F. R., Barros, A. C., & Soares, A. L. (2019). Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster. *The Journal of High Technology Management Research*, 30(2), 100355. <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2019.100355>
10. El Zaatari, S., Marei, M., Li, W., & Usman, Z. (2019). Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview. *Robotics and Autonomous Systems*, 116, 162-180. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.03.003>
11. Gunal, M. M. (2019). Simulation and the Fourth Industrial Revolution. En M. M. Gunal (Ed.), *Simulation for Industry 4.0: Past, Present, and Future* (pp. 1-17). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04137-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04137-3_1)
12. Peng, J. L. (2011). Optimization on the Improvement Schemes of Production Logistics System Based on Flexsim Simulation. *Advanced Materials Research*, 225-226, 852-856. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.225-226.852>

13. Wang, Y. R., & Chen, A. N. (2016). Production Logistics Simulation and Optimization of Industrial Enterprise Based on Flexsim. *International Journal of Simulation Modelling*, 15(4), 732-741. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM15\(4\)CO18](https://doi.org/10.2507/IJSIMM15(4)CO18)
14. Zhang, F., & Tian, C. (2017). Study on Modeling and Simulation of Logistics Sorting System Based on Flexsim. *2017 International Conference on Computer Network, Electronic and Automation (ICCNEA)*, 504-506. <https://doi.org/10.1109/ICCNEA.2017.44>
15. Zhang, X. (2018). Application of discrete event simulation in health care: A systematic review. *BMC Health Services Research*, 18(1), 687. <https://doi.org/10.1186/s12913-018-3456-4>