

Trabajo de grado en modalidad de aplicación

Diseño de alternativas de mejora de los tiempos de parada por el proceso de Limpieza de tanques en la empresa Slenger S.A.

Gabriela Andrea Díaz Sánchez 1^{a,c}, María Juliana Estupiñán Delgado 2^{a,c}, María Paula Tabares Perez 3^{a,c},
John Leonardo Vargas Mesa.^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor y Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Abstract

The Colombian industry is looking to generate a positive impact on the country's economy by implementing high standards of quality and competitiveness. This is the reason why the industrial processes must be efficient in improving dead times and waste. A lost of time in a process causes a waste of the capacity of the production, which then breaches strategic objectives and therefore it is necessary to incur in product shortages. Some of the events that cause different types of waste are corrective and preventive maintenance, stops due to damages, stops due to wastes and stops due to design changes of product references. Taking into account the mentioned above, in order to improve the efficiency of a process, it is necessary to focus on finding and eliminating factors that slow down the operation directly.

The multinational Slenger S.A. produce can containers and is considered one of the most important in the metalworking and steel industry 1. This company is headquartered in Philadelphia, Pennsylvania, and has 149 production plants around the world. Currently, the efficiency of the production plant in Colombia is 71%, which is a breach of the efficiency standards set by the Head Office, that should be 86%. Likewise, there are cost overruns of approximately 30% due to the use of imports to supply all of the demand.

Through the investigation of the processes that impact the efficiency of the company, it can be stated that the process of tank cleaning causes the biggest unproductive time in the line stop, which greatly affects this indicator. In the year of 2017, this process generates 62,93 unproductive hours, wasting the production of 7,721,700 containers and generating cost overruns of \$ 471,023,700 due to unnecessary imports in order to supply the corresponding demand. Based on the detailed analysis of the variables and operations that affect the completion of the tank cleaning process, it is evident that the procedures of cleanliness and the pollution conditions of the tank have an impact on the company's productive time.

This senior project shows alternatives of improvement to reduce the time that stop completely the plant at Slenger S.A., through the analysis of the contamination conditions and the tank cleaning process. Therefore, it is required to apply the following tools to study the mentioned variables: Single Minute Exchange of Die (SMED) and Design of experiments (DOE). On one hand, SMED allows to identify the unproductive activities during the line stops, in order to propose possible solutions that can reduce the time of the process. On the other hand, DOE helps to evaluate the pollution indexes of the tank with the greatest influence on the frequency of cleanups. The above mentioned is needed to standardize the indexes and reduce the number of times the process is realized. Additionally, these tools offer the possibility of carrying out a rigorous analysis in order to standardize the process, through the classification of critical activities, the creation of indicators and the validation of results using a discret-event simulation.

Based on the application of these tools and the results evaluated through a discret-event simulation, positive effects are predicted for the company, such as the reduction of 22,12% of time in the duration of the tank cleaning process, the prolongation of the time between cleanings of seven days, the production of 4,483,200 of additional containers and the decrease in production costs due to the manufacture of national product of \$ 223,406,000, which is not imported.

Keywords: *Tank cleaning, contamination, discret-event simulation, SMED, DOE, reduction.*

1. Justificación y planteamiento del problema

El sector *metalmecánico y siderúrgico*¹ aporta en promedio un 10,6% al Producto Interno Bruto Nacional colombiano (Moreira, 2016). “Este indicador es fundamental para evaluar el crecimiento, la estructura de la economía y su capacidad de uso eficiente de los recursos disponibles para la producción” (Banco de la República, 2015). Para este trabajo es relevante el estudio de la industria de bebidas en lata, la cual aporta aproximadamente el 3,4 % de las ventas a este sector (ANDI, 2012). En los últimos años se evidencia un crecimiento en las ventas de bebidas en lata como lo confirma el informe de gestión de Bavaria S. A. (2015). Con esto se espera que las empresas productoras de envases en lata para bebidas aumenten su eficiencia y capacidad de producción para cubrir su demanda que tiende al alza en el corto y mediano plazo (Reporte Anual Rexam, 2015).

Este trabajo centra su estudio en la empresa productora de envases en lata para bebidas denominada desde ahora Slenger S.A (por temas de confidencialidad). Los datos cuantitativos que se presentan en este documento son modificados en cierto porcentaje para garantizar la protección de la información brindada por la organización. El comportamiento de la demanda de esta empresa presenta una variación promedio positiva del 13% en sus ventas desde el año 2014 hasta el 2017 (Gráfico 1). En el año 2017, la producción de envases en lata de la planta alcanza a cubrir aproximadamente el 67 % de su demanda. La empresa, por política interna, no debe incumplir a sus clientes, por tal motivo y para suplir los faltantes de producto recurre a la importación de los envases desde las fábricas de Slenger S.A. ubicadas en México y Brasil. Estas importaciones aumentan los costos de producción en un 30 % (ANEXO 1, Análisis de demanda y costos).

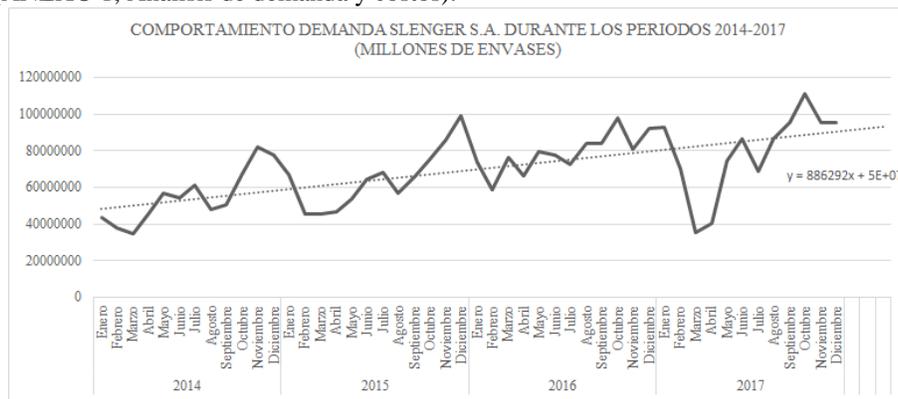


Gráfico 1. Comportamiento de demanda de Slenger S.A. durante los años 2014 -2017. Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia que la demanda tiene una tendencia positiva en el tiempo y por esto, es necesario para la empresa analizar la *eficiencia operacional*. Es pertinente señalar que para la compañía, la eficiencia representa un compromiso real tanto con el cliente como con Casa Matriz. El mejoramiento de la eficiencia de producción es dirigido por el personal operativo para reducir las causas de las paradas inesperadas.

El objetivo que tiene Slenger S.A Colombia con Casa Matriz respecto a la dimensión de manufactura para cumplir con la *Política World Class Performance, Desempeño de Clase Mundial (WCP)*, es alcanzar un estándar de eficiencia del 86% en la planta de producción. El enfoque de la dimensión de manufactura del *WCP* es la base para el continuo mejoramiento de la eficiencia y la disminución de la variabilidad (Slenger S.A., 2017). Con base en registros históricos de eficiencia de la planta de producción de Colombia en el año 2017², se evidencia que este indicador es de 71%, 15 puntos por debajo de la eficiencia estándar exigida por casa matriz (Gráfica 2). En consecuencia, este porcentaje aumenta los costos de producción en aproximadamente \$17.899.779.800 (ANEXO 1, Comparación eficiencia). Siendo necesaria la *eficiencia operacional*, el departamento de producción tiene la responsabilidad de identificar y eliminar todo tipo de desperdicio presentado durante el proceso de manufactura para mejorar la calidad del producto y de los procesos, reducir el tiempo y los costos de producción.

¹ Todas las palabras en cursiva se encuentran en el glosario para su aclaración

² El mes de Junio no presenta indicador de eficiencia dado que la planta de producción estuvo parada durante este mes por mantenimiento

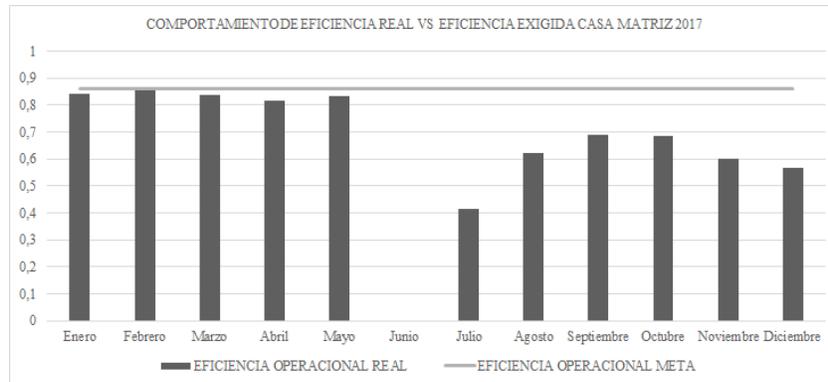


Gráfico 2. Comportamiento de eficiencia real vs estándar de eficiencia exigido por Casa Matriz. Fuente: elaboración propia.

Para encontrar los procesos que afectan esta *eficiencia*, se realiza un análisis de Pareto a partir de la información provista con el software *CUTE*. En este se determinan las *actividades rutinarias de producción* que generan mayor impacto en la eficiencia. Las actividades *Limpieza de boquillas y ductos*, *Cambio de diseño*, *Cambio de Coils*, *Limpieza de Tanques*, *Muestreo de envases para pruebas de calidad*, *Cambio de código de producción* y *Limpieza de correas del BRC*, las cuales representan el 24% de las actividades rutinarias de producción, generan el 79% de paradas en el proceso general de la planta (ANEXO 1, Análisis *CUTE*).

La *Limpieza de boquillas y ductos* es la actividad más representativa en las paradas de línea. Este procedimiento se lleva a cabo en siete máquinas en diferente momento, por lo tanto, cuando se realiza la parada de alguna de ellas, automáticamente las seis máquinas restantes aumentan su velocidad para compensar la velocidad de la máquina inactiva. Asimismo, *Cambio de diseño* presenta restricciones por políticas internas de seguridad y directrices de gerencia. Finalmente, para la actividad *Cambio de Coils*, ya se tienen establecidos unos planes de acción; actualmente se tiene un contrato con un proveedor que cuenta con un nuevo formato de *Coil* y con esto se espera disminuir el tiempo improductivo en un 33%, razón por la cual en este proyecto no se presenta una propuesta de mejora para esta actividad. Por lo anterior, se determina en acuerdo con el jefe de producción que la actividad a la que se le proponen soluciones en este proyecto es *Limpieza de tanques*, ya que es la siguiente con mayor incidencia, representando el 13% de las paradas de línea.

De acuerdo con datos históricos del 2017, la actividad *Limpieza de tanques* se realiza 23 veces en el año, afectando 62,93 horas de producción representadas en 7.721.700 envases menos. Como consecuencia, estos se importan desde las fábricas de Slenger S.A. en México y Brasil lo que genera costos adicionales de \$471.023.700 (ANEXO 1, Costos limpieza tanques). Con base en el anterior planteamiento, se analizan algunas de las variables que intervienen en la duración del proceso de *Limpieza de tanques* y que determinan la frecuencia de la limpieza. Por un lado, las actividades de preparación afectan directamente el tiempo empleado en la *Limpieza de tanques*. Por otro lado, las variables que afectan el estado de contaminación influyen directamente en la frecuencia de la limpieza, debido a que no tienen un control estandarizado.

Para el análisis de las variables que tienen que ver con la duración del proceso de *Limpieza de tanques*, se propone la aplicación de la herramienta Single Minute Exchange of Die (SMED). Esta permite la reducción de los tiempos improductivos a través del desarrollo de cuatro etapas conceptuales enfocadas a las actividades que se llevan a cabo cuando el equipo está o no en funcionamiento (Morales, López, Atayde y Chavarria, 2016). Se pretende identificar posibles actividades, condiciones o procedimientos innecesarios durante la limpieza, que causan la prolongación del tiempo de parada por este proceso. Con lo anterior se busca proporcionar alternativas de mejora en las condiciones ambientales donde se lleva a cabo la *Limpieza de tanques* y de igual modo, en la forma en cómo se realizan algunas actividades durante la aplicación del proceso.

En cuanto a la identificación de las variables que influyen en el número de veces en que se realiza el proceso de *Limpieza de tanques*, se propone la aplicación de un diseño de experimentos. El diseño de experimentos es una serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de mayor influencia de un sistema, para observar las razones de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery, 2004). Para identificar las variables, se realizan entrevistas al jefe de producción y a los colaboradores del área, con el fin de determinar las causantes de que el tiempo entre limpiezas sea corto (ANEXO 2, Entrevistas). Con lo anterior, se obtiene la

siguiente hipótesis: El tanque seis presenta el mayor índice de contaminación y en consecuencia, este genera la limpieza de todos los tanques. A partir de un análisis de Pareto en donde se mide la cantidad de veces que cada uno de los tanques presenta parámetros fuera de especificación por exceso de contaminación (ANEXO 1, Pareto tanque seis). El tanque seis, que representa el 25% del total de los tanques, genera el 56,25% de los parámetros fuera de especificación por exceso de contaminación. Por lo tanto, se pretende identificar un estándar en los indicadores, con el fin de controlar los índices de contaminación del tanque seis.

Finalmente, se propone el empleo de una simulación para evaluar las soluciones brindadas como alternativas por la herramienta SMED y el diseño de experimentos. Según Kelton, Sadowski y Sturrock (2008), la simulación se refiere a un gran conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales, generalmente en una computadora con un software apropiado. Se pretende usar una simulación de eventos discretos para representar en 3D los sucesos transcurridos en diferentes instantes de tiempo, a través del uso del software *FlexSim*, con el fin de observar el impacto aproximado de los cambios propuestos. El propósito es representar dos modelos, uno que reproduzca el panorama actual y el otro que simule la situación con las propuestas de reducción en el tiempo de duración del proceso y en la tasa de contaminación del tanque seis, a fin de comparar la reducción del tiempo de duración de la limpieza y la extensión del tiempo entre cada limpieza cuando es necesario emplear.

En razón de lo expuesto, este trabajo responde la siguiente pregunta de investigación: *¿Qué alternativas se pueden diseñar para mejorar los tiempos de parada de la planta Slenger S.A a través del análisis de las condiciones de contaminación y el proceso de Limpieza de tanques?*

2. Antecedentes

Las herramientas SMED, diseño de experimentos y simulación de eventos discretos son empleadas para proponer soluciones con la intención de reducir el tiempo de parada de línea, que se da por la necesidad de ejecutar el proceso de *Limpieza de tanques* cierto número de veces al mes.

Por un lado, con la herramienta SMED se busca impactar en las actividades de preparación del proceso de *Limpieza de tanques*, permitiendo modificarlas o eliminarlas, para lograr mejoras significativas en el tiempo de duración. SMED es una estrategia de Lean Manufacturing que ayuda a identificar posibles procedimientos o condiciones que afectan la duración en un proceso. Esta herramienta permite evaluar las actividades y tiempos de cualquier proceso dirigido paso a paso a mejorar la exactitud y eficiencia de los mismos (Karasu, Cakmakci, Cakiroglu, Ayva y Demirel, 2014). Según Shingo (1985) se debe seguir la siguiente metodología que consta de cuatro etapas al aplicar la herramienta SMED:

1. Etapa Preliminar: Estudio de la operación de cambio.
2. Primera Etapa: Separar tareas internas y externas.
3. Segunda Etapa: Convertir tareas internas en externas.
4. Tercera Etapa: Perfeccionar las tareas internas y externas.

A continuación, se muestran algunos casos de implementación exitosa del SMED y sus resultados:

Tabla 1. Casos de éxito implementación de la herramienta SMED. Fuente: elaboración propia.

Casos Éxito	Características	Descripción.	Autores
Logística de Manejo de la Cadena de Abastecimiento	Transporte, recepción, almacenamiento y procesamiento de la materia prima.	Diseño del proceso de manejo de inventarios, para mejorar los tiempos de producción. La eficiencia mejoró en un 5%	Lozano , Martínez , Blanco, Saenz-Diez, Jiménez (2017).
Reducción tiempos línea de ensamble electrónica.	Aplicación de la Técnica SMED, en la reducción de tiempos en la línea de ensamblaje.	Análisis estadístico y programación para la reducción de tiempos de ensamble. Reducción de tiempos en un 80% y ahorros en costos de 1.8 millones de dólares por año.	Trovinger, Bohn (2005)
Análisis del proceso de aplicación de inyecciones en una clínica	Implementación al detalle la metodología SMED.	Aplicación de los pasos basados en la metodología de Shingo (1989)	Morales, Silva (2016)

Por otro lado, con el diseño de experimentos se busca controlar aquellas variables que ocasionan la contaminación de los tanques y por lo tanto se procede a realizar el proceso de *Limpieza de tanques*. El diseño de experimentos es una herramienta fundamental en el ámbito de la ingeniería para mejorar el desempeño de un proceso de manufactura, ya que brinda mejoras en el rendimiento de un proceso y permite reducir el tiempo de desarrollo y los costos globales (Montgomery, 2004). El diseño factorial es la técnica del diseño experimental escogida para identificar las condiciones y los niveles que contaminan los tanques. De acuerdo con Montgomery (2004), el diseño factorial estudia las posibles combinaciones de los niveles de dos o más factores, es decir que los factores se hacen variar en conjunto en lugar de uno a la vez. El autor afirma que todo diseño de experimentos debe cumplir con tres principios básicos: realización de réplicas, aleatorización y formación de bloques, y con tres supuestos generales que lo validan: normalidad, homogeneidad y aleatoriedad; además propone unas pautas generales para diseñar un experimento:

1. Identificación y exposición del problema
2. Elección de los niveles, los factores y los rangos
3. Selección de la variable de respuesta
4. Elección del diseño experimental
5. Realización del experimento
6. Análisis estadístico de los datos
7. Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se muestran algunos casos con una implementación exitosa del diseño de experimentos y sus resultados aplicados:

Tabla 2. Casos de éxito implementación del diseño de experimentos factorial. Fuente: elaboración propia.

Casos de éxito	Características	Descripción	Autores
Uso del diseño factorial en los ensayos de liberación controlada del ácido 1,3 indolacético cargado en matrices de quitosano	Se utilizó el Diseño Factorial 2 ³ cuyos factores a estudiar fueron: la concentración de quitosano (% quitosano), tiempo de gelación en NaOH (tiempo en NaOH) y concentración de tripolifosfato de sodio (TPP) (% de TPP).	Los resultados del diseño experimental indicaron que los tres factores influyen en la cantidad liberada de la hormona AIA en dos horas, en donde a mayor concentración de quitosano aumenta la velocidad de liberación, mientras que a mayor concentración de TPP y mayor tiempo de gelación en NaOH disminuye la velocidad de liberación.	Valderrama, Hernández, Ponce y Manrique (2017)
Evaluación de las condiciones de mezcla y su influencia sobre el cloro residual en tanques de compensación de un sistema de distribución de agua potable	La prueba fue de tipo continuo durante un periodo de llenado que duró 11 horas; el trazador utilizado fue cloruro de sodio; la variable de respuesta fue conductividad y la concentración de sodio se determinó a través de una curva de calibración construida en laboratorio.	Se encontró que la recirculación y el intercambio insuficiente de agua, los bajos de flujo de momento asociados a caudales pequeños y la estratificación térmica puntual pueden causar elevados tiempos de residencia en el tanque, altas edades del agua, mezcla insuficiente y pérdida importante del cloro residual libre.	Montoya, Cruz, Torres, Lain y Escobar (2012)
Determinación de las condiciones óptimas para la obtención de un fertilizante fosfatado a partir de la roca fosfórica cubana	Se utilizó el diseño factorial centrado rotacional 2 ³ en 13 corridas experimentales y se elaboró una matriz de experimentos con las variables independientes, relación ácido/roca y porcentaje de ácido sulfúrico, en el intervalo de 1.61-2.06 y 65%-75% respectivamente	Se obtuvo que los parámetros óptimos en el intervalo estudiado para la roca cubana beneficiada fueron: concentración de H ₂ SO ₄ de 72% y la relación ácido/roca de 2.02. Los índices de calidad del Superfosfato Sencillo curado obtenido con los parámetros óptimos son: contenido de fósforo asimilable de 12.28%, humedad 8.21% y acidez libre 2.05%.	Ordoñez, Rodríguez-Acosta y Rodríguez-Suarez (2017)

Finalmente, con la simulación se tiene la finalidad de comparar el panorama actual con el propuesto, dado los cambios sugeridos al proceso de *Limpieza de tanques* y a la tasa de contaminación del tanque seis por el estudio de los factores. La simulación es el proceso de diseñar y crear un modelo computarizado de un sistema real o propuesto con la finalidad de llevar a cabo experimentos que den un mejor entendimiento del comportamiento de dicho sistema en un conjunto dado de condiciones (Kelton, Sadowski y Sturrock, 2008). Se emplea la simulación de eventos discretos a través de *FlexSim* para la reproducción de dos modelos. Según Kelton, Sadowski y Sturrock (2008) en la simulación de eventos discretos se representa un suceso, que puede ser llegada, salida o fin, en un instante de tiempo del sistema, cuyas variables que lo describen no cambian entre los eventos sucesivos. Los autores mencionados no tienen una fórmula para una simulación exitosa; sin embargo, enuncian algunos aspectos generales que se presentan con frecuencia en un modelo de simulación, dados a continuación:

1. Entender el sistema
2. Ser claro en los objetivos
3. Formular la representación del modelo
4. Traducir a un software de modelación
5. Verificar que la representación en la computadora caracterice fielmente el modelo conceptual
6. Validar el modelo
7. Diseñar los experimentos
8. Ejecutar los experimentos
9. Analizar los resultados
10. Tener entendimiento
11. Documentar lo que se hace

A continuación, se muestran algunos casos de implementación exitosa de la simulación y sus resultados:

Tabla 3. Casos de éxito implementación de simulación. Fuente: elaboración propia.

Casos de éxito	Características	Descripción	Autores
Propuesta del mejoramiento de la metodología de Manufactura Esbelta por medio de optimización de sistemas de manufactura y simulación de eventos discretos.	La metodología Esbelta es la principal utilizada por las empresas de manufactura en el mundo. Se pretende mejorarla al incorporar modelación de sistemas de manufactura y simulación con el fin de adaptarla a empresas de alta variabilidad en sus productos.	La simulación de eventos discretos aplicados a la metodología permite observar el comportamiento de las decisiones tomadas para desarrollar el estado futuro ideal.	Delgado y Gallo (2011)
Determinación de restricciones de capacidad de producción en proceso de obtención de cobre.	El trabajo consiste en un estudio de Simulación de Eventos Discretos (DES) para determinar los equipos "cuello de botella" en el proceso. Se utiliza el software SIMIO para reproducir distintos escenarios de operación, siguiendo las etapas de simulación propuestas por Kelton.	Los resultados incluyen el modelo DES validado que replica satisfactoriamente el comportamiento real de la planta y de los principales equipos del sistema.	Segovia, Garvas y Pozo (2016)
Diseño de un control jerárquico por medio de sistemas de eventos discretos para el Sistema Mecatrónico I de Fischertechnik.	Los sistemas de eventos discretos (SED) son una herramienta de análisis capaces de modelar fenómenos de cualquier aplicación en la industria. Se propone el modelado sistemático y ordenado de una celda didáctica de Fischertechnik por medio de SED.	Se obtiene el diseño de un control jerárquico por medio de la teoría de control supervisor que se implementa en un control lógico programable con la ayuda de la herramienta SED.	Córdova, Molina, Gómez y Martínez (2016)

Los casos mencionados en las tablas anteriores dan certeza de que la herramienta SMED, el diseño de experimentos y la simulación, pueden generar resultados exitosos para todo tipo de proceso en cualquier industria, basándose en los pasos establecidos por los autores.

3. Objetivos

“Diseñar alternativas de mejora de los tiempos de parada de la planta Slenger S.A a través del análisis de las condiciones de contaminación y el proceso de Limpieza de tanques.”

- I. Realizar estudio de tiempos y movimientos del proceso de Limpieza de tanques.
- II. Proponer soluciones al procedimiento de Limpieza de tanques a través de la aplicación de la herramienta SMED.
- III. Realizar comparativo de soluciones propuestas a través de un diseño factorial que permita evaluar el estado actual y propuesto de las condiciones de contaminación en el tanque seis.
- IV. Diseñar un procedimiento que contribuya a la disminución de los niveles de contaminación del tanque seis.
- V. Analizar mejoras propuestas del proceso de Limpieza de tanques y el procedimiento propuesto a través de una simulación donde se compare el estado actual y el propuesto.

4. Metodología

I. Realizar estudio de tiempos y movimientos del proceso de Limpieza de tanques.

Se entrevista a los operarios que realizan el proceso para conocer el procedimiento que siguen al limpiar los tanques. De lo anterior, se identifican las actividades empleadas para la realización del proceso de *Limpieza de tanques*. Paralelamente, se analiza en vivo y a través de un video lo que está pasando (ANEXO 3). Con esta visualización se tiene claridad en cómo se realiza el proceso, se verifican las afirmaciones brindadas por los colaboradores en las entrevistas y se toma el tiempo de duración por cada actividad. Con base en los resultados, se crea el diagrama de operaciones y de recorrido actual de la *Limpieza de tanques* (ANEXO 4, Diagramas del proceso de *Limpieza de tanques* actuales y propuestos). Adicionalmente, se logra definir qué porcentaje de tedio y molestia tienen las posiciones ergonómicas que realizan los operarios.

Por un lado, para determinar el tiempo estándar es necesario hacer el cálculo del número de ciclos de observación preliminar de la *Limpieza de tanques*. Esto para obtener el número de muestras reales requeridas del proceso. Teniendo en cuenta que estos datos siguen una distribución *t student* (<30 datos), a continuación se muestra el cálculo realizado:

Tabla 4. Número recomendado de ciclos de observación. Fuente: (Niebel, 2014)

Tiempo de ciclo en minutos	Número recomendado de ciclos
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1,00	30
2,00	20
2,00 - 5,00	15
5,00 - 10,00	10
10,00 - 20,00	8
20,00 - 40,00	5
40,00 - más	3

Como el proceso de *Limpieza de tanques* tiene una duración de más de 40 minutos de acuerdo a datos históricos reflejados en el anexo 1, se requiere hacer tres observaciones para poder determinar la muestra real. Una vez tomados estos datos (ANEXO 5, Tiempos tomados proceso de *Limpieza de tanques*), en la siguiente tabla se evidencian los resultados obtenidos con la observación realizada:

Tabla 5. Datos de las muestras observadas en el proceso de *Limpieza de tanques*. Fuente: elaboración propia

Muestra	1	2	3
Total Minutos	106,11	136,87	132,22
PROMEDIO		125,07 min	

Con los datos obtenidos se procede a calcular la desviación de estas observaciones cuando son menos de 30 datos (Niebel, 2014).

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{(125,07 - 106,11)^2 + (125,07 - 136,87)^2 + (125,07 - 132,22)^2}{3 - 1}} = 16,58$$

Una vez se tiene la desviación, se procede a calcular la muestra para este proceso. Al ser un estudio de tiempos, el número de observaciones será pequeño ($n < 30$). Dado lo anterior, se procede a calcular la muestra con base en una distribución *t*. Según el estudio piloto de tres observaciones, se muestra que $x_{prom} = 125,07$ min y $s = 16,58$ una probabilidad de error de 9% para dos grados de libertad, conduce a un $t = 2,0928$. Cabe aclarar que para este

estudio, se tiene un registro histórico de los tiempos tomados durante el año 2017, por lo que se procede a calcular el número de muestras con base a la cantidad de tomas históricas disponibles (Niebel, 2014).

$$n = \left\{ \frac{st}{kx_{prom}} \right\} = \left(\frac{(16,58 * 2,0928)}{(0,09 * 125,07)} \right)^2 = 13 \text{ muestras}$$

Como resultado, con un 9% de error se obtienen 13 muestras, los datos tomados de estas se pueden observar en el anexo 5.

Por otro lado, también es necesario para el cálculo del tiempo estándar, identificar los suplementos y contingencias del proceso. Para esto, se realiza una toma de datos de los niveles de ruido, temperatura, estrés térmico y luz en el área donde se lleva a cabo la *Limpieza de tanques*. Paralelamente, por medio de las entrevistas se conoce, bajo la percepción de los colaboradores, cuáles son las posiciones ergonómicas más complejas y tediosas, y cómo consideran las condiciones ambientales cuando están realizando la limpieza. En la primera parte, es imprescindible determinar el número de muestras necesario para la toma de datos de las condiciones ambientales. Para determinar cuántos puntos de medida son suficientes de acuerdo al área donde se lleva a cabo el proceso, se utiliza el método de la constante del salón, propuesto por la [Organización Internacional del Estudio del Trabajo \(1996\)](#), el cual se muestra a continuación:

$$K=L*W/ HM(L+W)$$

L: Longitud del salón (25,84 m)

W: Ancho del salón (5,6 m)

HM: Altura de las luminarias tomada desde el punto de trabajo (2,545 m) (p.46)

De esta manera:

$$K= (25,84 \text{ m} * 5,6\text{m}) / 2,545\text{m} (25,84 \text{ m} + 5,6 \text{ m}) = 1,81$$

De acuerdo con la siguiente tabla, se busca la constante del salón y se toma una muestra mínima de los puntos de medición.

Tabla 6. Cantidad mínima de los puntos a tener en cuenta para la medición. Fuente: (Niebel, 2014)

Constante del Salón	Tamaño Muestra
< 1	4
1 y < 2	9
2 y < 3	16
>= 3	25

Para este caso, la constante da como resultado un número entre uno y dos (1,81), por lo que se procede a realizar la toma de datos en nueve puntos estratégicos del área del proceso de *Limpieza de tanques* (ANEXO 5, Datos condiciones ambientales). Con base en estas mediciones, se determinan los suplementos y contingencias. Finalmente, con estos datos y con los tiempos de los ciclos de observación se realiza el cálculo del tiempo estándar del proceso de *Limpieza de tanques* (ANEXO 5, Análisis condiciones ambientales)

II. Proponer soluciones al procedimiento de Limpieza de tanques a través de la aplicación de la herramienta SMED.

Realización diagrama Pert- Time

A partir de los resultados que se obtienen de los ciclos de observación, se realiza un *diagrama Pert-Time* con ayuda de la herramienta *Microsoft Project*. En esta se evidencia la ruta crítica del proceso de *Limpieza de tanques*,

la cual representa la dimensión máxima que puede durar el proceso y los tiempos de holgura que presentan cada una de las actividades (ANEXO 6, Ruta crítica). Se identifica que la ruta crítica tiene una duración de 115,6 minutos, sin embargo, se deben agregar 8,23 minutos del tiempo de las actividades que duran menos de 0,5 minutos debido a que el programa no los toma. En efecto, la ruta crítica tiene una duración total de 123,83 minutos. Adicionalmente, el 68% de las actividades del proceso hacen parte de la ruta crítica, por ende no se presenta holgura en la mayoría de las actividades.

Al seguir las etapas de SMED propuestas por Shingo (1985) se determinan las actividades internas y externas del proceso de *Limpieza de tanques*. De acuerdo con el diagrama de flujo del proceso actual ilustrado en el anexo 4, que cuenta con 90 actividades, la toma de tiempos de estas actividades registradas en el anexo 5 y las entrevistas realizadas a los colaboradores presentadas en el anexo 2, se establecen las actividades internas y externas del proceso. Las actividades internas se realizan con la maquinaria detenida y las externas se realizan con la maquinaria en funcionamiento.

A partir de esta identificación, se determina con los colaboradores y el departamento de seguridad cuáles actividades internas pueden convertirse en externas, teniendo en cuenta que no perjudican el proceso y no tienen limitantes de seguridad. Una vez se desarrolló lo anterior, se procede a realizar un diagrama de Pareto que proporciona las actividades más significativas a fin de convertirlas en externas (ANEXO 6, Pareto actividades externas). Las actividades: *diligenciamiento de Job Hazard Award (JHA)*, *diligenciamiento de permiso de espacios confinados*, *levantamiento de escotillas para verificar vaciado de envase en la máquina* y *colocamiento de elementos de protección individual*, representan el 25% de las actividades internas con posibilidad de convertirse en externas y generan el 80% de tiempo de esta clase.

III. Realizar comparativo de soluciones propuestas a través de un diseño factorial que permita evaluar el estado actual y propuesto de las condiciones de contaminación en el tanque seis.

Para la realización del experimento se tienen en cuenta las pautas generales y principios básicos de Montgomery (2004), las cuales se observan en el apartado de antecedentes presentado anteriormente. En primer lugar, se identifican las principales causas del proceso de *Limpieza de tanques* por medio de la observación, análisis y entrevistas al jefe de producción y los colaboradores. Como se describe en el apartado de justificación, de acuerdo a las entrevistas del anexo 2 y a el diagrama Pareto del anexo 1, se obtiene la siguiente hipótesis: El tanque seis presenta el mayor índice de contaminación y en consecuencia, este genera la limpieza de todos los tanques. El tanque seis, que representa el 25% del total de los tanques, genera el 56,25% de los parámetros fuera de especificación por exceso de contaminación. Lo anterior influye en el número de veces en que se realiza la limpieza, debido a que el contenedor seis, al llegar a su límite, ocasiona la limpieza de todos los tanques. Dado lo anterior, en este trabajo se considera únicamente el número seis.

Se realiza un análisis más detallado del último tanque en donde se determina que las causas de la contaminación están dadas por las variables de **conductividad**, **turbiedad** y **pH del agua**. Lo anterior se obtiene a través de entrevistas realizadas al líder del área y a los colaboradores de la máquina. Según la información acerca de las variables de contaminación, se identifica que los colaboradores llevan un control sobre la **conductividad** y el **pH**, en donde se registran diariamente los niveles de estas variables en un formato de control de proceso. Dado lo anterior, se cuenta con datos históricos para analizar el comportamiento de estas dos variables en el tiempo. Sin embargo, los colaboradores no llevan un control sobre la **turbiedad**, ya que no cuentan con un turbidímetro para su medición, de esta manera, no se tienen datos históricos para analizar el comportamiento de esta variable en el tiempo. Casa Matriz tiene fijado un estándar que establece los límites de **conductividad** y **pH** para garantizar las condiciones óptimas de contaminación:

Tabla 7. Límite de valores medidas controlables tanque seis. Fuente: Slenger S.A.

Conductividad	0 - 50 $\mu\text{s/cm}$
pH	4.5 - 7.5

Con el experimento no se puede demostrar que un factor posee un efecto particular, pero sí se pueden proporcionar pautas generales en cuanto a la confiabilidad y validez de los resultados, por lo tanto se pretende generar objetividad en la toma de decisiones con respecto a las variables *conductividad*, *turbiedad* y *pH*. Para este caso, los factores que se escogen en mutuo acuerdo con el jefe de producción y el químico especialista para variar las medidas de *pH* y *conductividad* son: ***cantidad de ácido sulfúrico reactivo analítico a aplicar en el tanque seis*** y ***caudal de agua desionizada a la entrada del tanque seis***. Estos factores, son considerados como potenciales del diseño debido a que generan alguna reacción en estas variables que afectan directamente el proceso y se pueden controlar. El primero, que se elige como factor A, ayuda a mantener los niveles de *pH* dentro de los rangos establecidos por la compañía y además, se cree que permite disminuir el nivel de *turbiedad* del agua, controlando la cantidad a aplicar en mililitros [mL], por lo tanto puede tener efectos considerables que deben tomarse en consideración. El segundo, elegido como factor B, se considera como un factor potencial del diseño debido a que genera alguna reacción en estas variables que afectan directamente el proceso y se puede controlar. De acuerdo con los colaboradores, éste mantiene los niveles de *conductividad* dentro de los rangos establecidos por la compañía y de igual forma, se puede controlar en galones por minuto [gal/min]. Hoy en día, no existe un estándar para el manejo de estos factores, sino que se definen según la percepción del colaborador. En el experimento se evalúa a la variable *turbiedad*, pero no se mide su mejora ya que no cuenta datos históricos.

Los rangos y niveles de cada factor se escogen a partir de la experticia y experiencia del químico encargado que conoce la cantidad máxima permitida de cada factor en el tanque seis durante un tiempo establecido. Esto se hace con el fin de no perjudicar el proceso general de la máquina ni el funcionamiento del tanque. Para cada factor se establecen tres niveles: **alto, medio y bajo**. Para la elección de los niveles del ***ácido sulfúrico reactivo analítico***, se toma el nivel máximo permitido (2,3mL) como el nivel alto; este valor se divide en tres niveles y así se escoge el nivel medio y bajo, sumando el anterior. No se usan rangos sino cantidades exactas porque es una sustancia que afecta en gran proporción el *pH*. En cuanto al ***caudal de agua desionizada***, se repite el procedimiento; su nivel máximo permitido es 3 gal/min, sin embargo, para este factor se toman rangos y se tiene en cuenta un error de + -0,5 gal/min ya que este es el error que presenta el flujómetro donde se toma la medición. Dado lo anterior, los factores tienen tres niveles con sus respectivos rangos, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 8. Niveles y rangos del ***ácido sulfúrico reactivo analítico*** y el ***caudal de agua desionizada***. Fuente: elaboración propia

		Rangos	
		Acido sulfúrico (ml)	Caudal (gal/min)
Niveles	Bajo	0.7	0.5 - 1.5
	Medio	1.5	1.6 - 2.5
	Alto	2.3	2.6 - 3.5

Según los factores y los niveles de los mismos, se determina que la variable de respuesta en este experimento está dada por la contaminación del tanque seis: $\text{Contaminación} = \max(\% \text{conductividad}, \% \text{turbiedad}, \% \text{pH})$. Esto debido a que un aumento fuera de los rangos en cualquiera de las variables de ***conductividad***, ***pH*** y ***turbiedad*** en el tanque seis, es determinante para realizar la limpieza en todos los tanques.

Para el presente proyecto, se aplica un diseño factorial 3^2 ya que se definen dos factores de tres niveles cada uno, con nueve observaciones o tratamientos, dados por $3^2=3 \times 3 = 9$, el cual garantiza los tres principios básicos de un experimento:

- ❖ **Formación de bloques:** Para mejorar la precisión de las comparaciones entre los factores de interés no se emplea esta técnica ya que los factores ácido y caudal no son considerados perturbadores ni covariables. Lo anterior, debido a que se pueden controlar y se pretende evaluar su efecto en los tres indicadores (*pH*, *conductividad* y *turbiedad*). Por lo tanto, para reducir la variabilidad se realiza un control de manera homogénea en cuanto al escenario y a las condiciones del experimento en todas las corridas realizadas.
- ❖ **Aleatorización:** Dadas las condiciones del proceso de limpieza se presenta el riesgo de que los datos no sean aleatorios. Sin embargo, se debe proceder a realizar una prueba de rachas donde se analice si es aleatorio el orden de los valores de las variables y se verifique el supuesto de independencia.
- ❖ **Realización de repeticiones:** Se determina que el número de réplicas para cada combinación es de cinco ($n = 5$) con base en la propuesta de Montgomery (2004) para la selección del tamaño de la muestra de un diseño de experimentos (ANEXO 7, Número de réplicas diseño de experimentos). Por lo anterior, al tener cinco réplicas entre estas combinaciones, se halla el total de corridas dadas por la multiplicación de las combinaciones posibles y el número de réplicas siendo $9 \times 5 = 45$.

Posterior a la elección del tipo de diseño experimental, niveles, rangos y factores, con la respectiva ecuación que representa el modelo estadístico, se establecen los requisitos a tener en cuenta al momento de ejecutar el experimento. Las observaciones del experimento se llevan a cabo dentro de la planta de Slenger S.A. con la participación de los colaboradores, a quienes se les proporciona estos requerimientos por medio de una capacitación. Una de las exigencias a cumplir es que la medición de los efectos en las dos variables (*pH* y *conductividad*) dados por el cambio de los factores, se debe realizar cada cuatro horas. Lo anterior es necesario porque los datos históricos que se tienen de la *conductividad* y el *pH* están registrados con esa frecuencia; y como la intención del proyecto es comparar el panorama actual (antes del experimento) con el propuesto (después del experimento), se debe contar con las mismas condiciones que incluyen el mismo rango de tiempo y la misma periodicidad. Otra de las exigencias es que se debe garantizar el cumplimiento de las condiciones definidas con el fin de tener la certeza de que se respetan los rangos fijados para cada nivel. Por lo anterior, se diseña un aplicativo en *Microsoft Excel* que asegura el cumplimiento de los valores de caudal y ácido establecidos en todas las mediciones. Este aplicativo permite determinar, de acuerdo al nivel de caudal y ácido, qué condiciones se deben seguir en las siguientes horas del experimento para mantener los niveles, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9. Aplicativo Excel, nivel de ácido sulfúrico requerido para mantener las condiciones del experimento. Fuente: elaboración propia

INGRESAR VALORES	CANTIDAD	MEDIDA	CLASIFICACION	VALOR MEDIDA REQUERIDA
Cantidad de litros por tanque	5000	Litros	NA	5000
Entrada constante de agua			NA	
Caudal modificable	2,7	Gal/min	Alto	613,23642 litros / hora
Tasa de conversión	3.78541	Litros/galón	NA	
Nivel de ácido	0,7	mL	Bajo	0,0007 litros

Los datos a ingresar en el aplicativo son la cantidad de litros que hay en el tanque, el nivel de caudal y el ácido sulfúrico. Para poder lograr el valor deseado de *pH*, se debe seguir la curva logarítmica que tiene esta variable y así se puede determinar cuánto ácido aplicar para lograr los rangos deseados. Con base en lo anterior, al ingresar la cantidad de ácido sulfúrico que se va a agregar al inicio del día, se puede determinar cuánto ácido se debe aplicar cada cuatro horas para garantizar las condiciones del experimento. Para mayor claridad se

observa el siguiente ejemplo con datos de caudal y ácido tomados de la tabla 10: Con un nivel de caudal alto (2,7 gal/min) y un nivel de ácido bajo (0,7 mL), se debe 0,05 mL agregar a las cuatro horas transcurridas la primera aplicación y 0,06 mL a las ocho horas para garantizar la misma condición en el tanque. A partir de las 12 horas se reinicia la cantidad de ácido aplicado (0,7 mL) debido a que cuando transcurre este tiempo, el *pH* supera el nivel permitido por la empresa (4,5 - 7,5) y no se garantizan las condiciones óptimas de *pH*. Después de agregar el ácido, se esperan 22 minutos para realizar la medición de las variables de control debido a que la reacción del ácido varía, con base en las condiciones de agitación del tanque y el volumen del mismo (5000 Litros). Finalmente, el estándar se cumple con este tiempo, bajo las condiciones del proceso.

Tabla 10. Ejemplo aplicativo excel, nivel de ácido sulfúrico requerido para mantener las condiciones del experimento. Fuente: elaboración propia

HORA DE LA MEDIDA		HORAS TRANSCURRIDAS	VALOR LOG	pH	Concentración	Cantidad de mL a Aplicar
DIA	08:54 a. m.	0	0,00000014	6,9	0,000069%	0
	12:54 a. m.	4	6,30104E-08	7,2	0,000034%	0,05
	04:54 p. m.	8	3,56682E-08	7,4	0,000022%	0,06
NOCHE	08:54 p. m.	12	2,29146E-08	7,6	0,000014%	0,07
	12:54 a. m.	16	1,59534E-08	7,8	0,000009%	0,07
	04:54 a. m.	24	9,00237E-09	8	0,000005%	0,07

Una vez se establecen el número de réplicas del experimento y se aseguran las condiciones de las tres medidas a comparar, antes de iniciar se verifica la consistencia del material experimental, el sistema de medición y las decisiones tomadas en cuanto a factores, niveles, rangos y tipo de experimento. Teniendo la confirmación de todo lo mencionado anteriormente se procede a realizar el experimento, que tiene una duración de nueve días (ANEXO 7, Evidencia experimento).

IV. Diseñar un proceso que contribuya a la disminución de las variables de contaminación del tanque seis.

Dentro de la empresa, se encuentra que no se lleva un control estándar en cuanto a los niveles de contaminación del tanque seis. A partir de lo anterior, se pretende diseñar un proceso que permita fijar los niveles adecuados del caudal y el ácido para controlar el *pH* y la *conductividad* con el fin de disminuir la contaminación en el tanque seis y, por lo tanto, reducir la cantidad de veces que se realiza el proceso de *Limpieza de tanques*. El proceso se crea con base en los resultados arrojados del objetivo tres.

V. Analizar mejoras propuestas del proceso de Limpieza de tanques y el procedimiento propuesto a través de una simulación donde se compare el estado actual y el propuesto.

El presente trabajo tiene como propósito lograr un impacto en la reducción del tiempo de *Limpieza de tanques* y una extensión del tiempo que transcurre entre cada limpieza, por ende se deben analizar las propuestas obtenidas después del uso de las herramientas SMED y diseño de experimentos. Se pretende comparar el panorama actual con el propuesto a través de un modelo computarizado para entender el comportamiento del sistema real y observar el impacto más claramente. Como los dos sistemas que se buscan modelar están constituidos por una secuencia de estados delimitados por diferentes sucesos que cambian en instantes espaciados en el tiempo, se propone el uso de una simulación por eventos discretos, a través del simulador *FlexSim* para la reproducción de estos dos modelos.

Por un lado, para reproducir el panorama actual a través de *FlexSim* se crea un modelo del proceso de *Limpieza de tanques* donde se muestra cómo se realiza actualmente y cuál es el tiempo promedio de duración estimado para una corrida de 2000 réplicas, utilizando los valores estadísticos obtenidos en el cálculo del tiempo estándar. Al tener el tiempo del proceso definido, se simulan las condiciones actuales de contaminación del tanque seis, tomando los valores históricos de *conductividad* de los meses de Noviembre y Diciembre de 2017. Esto debido a que solo se requiere una de las tres variables fuera del rango para considerar contaminado el tanque, y la *conductividad* es la que llega al límite con mayor frecuencia en comparación con el *pH*. Es importante aclarar que no se cuenta con históricos de la *turbiedad*, por lo que para esta simulación no es posible emplear esta

variable. Para poder recrear de la forma más exacta el modelo, se usan los deltas de cambio de la *conductividad* cada cuatro horas, reflejando el comportamiento del crecimiento de la variable en el tanque a través del tiempo. Con lo anterior, se simula la tasa de crecimiento de contaminación en el tanque seis hasta que llega a su punto de saturación y por ende activa la limpieza.

Por otro lado, para reproducir el panorama propuesto a través de *FlexSim* se crea un modelo del proceso de *Limpieza de tanques* donde se muestra cómo se realiza después de implementar la alternativa brindada por la herramienta SMED para reducir el tiempo de este. Asimismo, se simulan las condiciones de contaminación del tanque seis con los deltas de cambios reales de la variable conductividad durante los meses de noviembre y diciembre del año 2017. Después de eliminar datos extremos y tomando en cuenta el punto de saturación de la variable, es decir, hasta que se activa el lavado, se obtuvo la siguiente tasa de contaminación:

Tabla 11 .Tasa de crecimiento contaminación Tanque 6, empresa Slenger S.A. Fuente: elaboración propia

Tasa de crecimiento contaminación Tanque 6	
0.52 $\mu\text{s/cm}^4\text{horas}$	S= 7.03

De acuerdo a los datos del experimento, se cambiará esta tasa a los valores obtenidos con su respectiva desviación.

Finalmente, con la representación del modelo propuesto se pretende observar el impacto en el tiempo del proceso de *Limpieza de tanques* y en la tasa de contaminación del tanque seis, con las alternativas brindadas como solución. Al comparar la recreación de los panoramas actual y propuesto, se busca percibir los siguientes resultados:

- **Reducción del tiempo de duración de la Limpieza de tanques:** porcentaje de reducción del tiempo de duración de la limpieza en minutos y en dinero.
- **Extensión del tiempo entre limpiezas:** comparación de la tasa de aumento de contaminación de las medidas establecidas por la empresa (*conductividad* y *pH*) actuales con las propuestas de acuerdo al resultado del experimento obtenido. Esta medición se realiza en tiempo y costos.

5. Componente de Diseño en ingeniería.

5.1. Declaración de Diseño:

Propuesta orientada a diseñar alternativas de los tiempos de parada de la empresa Slenger S.A a través del análisis de las condiciones de contaminación de los tanques y el análisis de los procedimientos que se realizan durante el proceso de *Limpieza de tanques*.

5.2. Proceso de Diseño:

Se determinan las principales causas que generan una baja eficiencia en Slenger S.A. Una vez obtenidas, se estudian las principales razones por las que se presentan estas causas. Definidas estas razones, se procede a evaluar cómo se puede impactar directamente a estas a través de un estudio de tiempos y movimientos y un diseño de experimentos. Finalmente, se emplea una simulación de eventos discretos para comparar los panoramas actual y propuesto con el fin de observar el impacto de las alternativas brindadas por la herramienta SMED y el diseño de experimentos.

5.3. Requerimientos de desempeño:

El método de solución busca proponer mediante los resultados obtenidos, la utilización de un diseño de experimentos a través de un aplicativo programado y el rediseño del diagrama de procesos, para la mejora del proceso de *Limpieza de tanques*. Para esto, se realizó una simulación donde se compara el estado actual de la empresa vs el estado propuesto. Se miden los resultados en términos de tiempo, ya que la producción de envases varía y esta es representada en disminución de costos para la empresa.

Este aplicativo, permite flexibilidad de acuerdo a las condiciones ambientales de la empresa y es de fácil manipulación para cualquier colaborador. Adicionalmente, el rediseño del proceso permite mejorar las condiciones de la *Limpieza de tanques*. Se cumple con los siguientes requerimientos en el proyecto:

- Brindar una propuesta para reducir el tiempo del proceso de *Limpieza de los tanques*.
- Obtener las condiciones de mejora del tanque seis para reducir su contaminación.

5.4. Pruebas de rendimiento:

Para garantizar el rendimiento del proyecto, se utiliza la simulación a través de *FlexSim*, donde se evalúa por medio de 2000 corridas, la reducción del tiempo de duración del proceso de *Limpieza de tanques* y la expansión del tiempo entre limpiezas. Se toman en cuenta las siguientes restricciones en la construcción de la simulación:

- Complejidad en el proceso de *Limpieza de tanques*.
- Causas externas al proceso de *Limpieza de tanques*
- Políticas internas de la empresa.
- Manipulación de sustancias químicas en el proceso.

5.5. Cumplimiento del estándar:

Este proyecto se enfoca en plantear alternativas de mejora en el proceso de *Limpieza de tanques*, por lo tanto, se realiza un análisis de las actividades que tienen lugar durante el proceso así como un análisis de las situaciones que ocasionan la contaminación de los tanques. Se hace uso de técnicas estadísticas como el muestreo, diseño de experimentos y simulación, por lo que se debe tener en cuenta el informe técnico ISO/TR 10017 (2003).

El informe anteriormente mencionado es una orientación sobre las técnicas estadísticas para la Norma ISO 9001:2000 que pretende guiar y asistir a una organización en la identificación y selección de las técnicas apropiadas con el fin de hacer un mejor uso de los datos disponibles y tomar decisiones adecuadas. En el apartado 4.3 y 4.10 del informe técnico ISO/TR 10017 (2003), se proporcionan breves descripciones de las técnicas estadísticas: diseño de experimentos y simulación, respectivamente. Estos apartados pretenden ayudar al lector no especializado a evaluar la aplicabilidad potencial y el beneficio de utilizar estas técnicas en la implementación de los requisitos de un sistema de gestión de la calidad.

Ante cualquier modificación en el proceso de *Limpieza de tanques*, se deben evaluar las capacidades de los colaboradores, la infraestructura, maquinaria y materiales en el sitio de trabajo para no generar un impacto negativo. Adicionalmente, al realizar el estudio de tiempos del proceso, se debe verificar que los colaboradores cuenten con la dotación de seguridad y los requerimientos necesarios antes de comenzar a lavar los tanques.

6. Resultados

1. Realizar estudio de tiempos y movimientos del proceso de Limpieza de tanques.

A partir de la toma de datos y las entrevistas realizadas, se determina el comportamiento de las condiciones ambientales (luz, temperatura, ruido y estrés térmico) y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 12. Condiciones de ruido, luz, temperatura y estrés térmico por bloques proceso de Limpieza de tanques Slenger S.A. Fuente: elaboración propia

AREA DEL PROCESO DESDE DONDE SE TOMA LA MUESTRA PROCESO LAVADO DE TANQUES					
Letra	Áreas	Ruido Promedio	Luz Promedio	Temperatura Promedio	Estrés Térmico Promedio
A	Tablero de Mando	86,76	131,9	18,68	43,92
B	Mesa trabajo Izquierda	86,83	948,78	19,29	41,95
C	Mesa trabajo Derecha	89,31	907,6	20,09	34,61
D	Tanque 6	87,8	119,8	20,39	34,53
E	Tanque 5	88,13	183,5	21,6	43,37
F	Tanque 4	88,21	182,2	21,24	44,23
G	Tanque 3B	88,07	191,6	22,41	48,84
H	Tanque 3A	87,05	134,2	21,78	34,99
I	Válvula Derecha	88,79	354,4	21,79	35,35
J	Válvula Izquierda	87,91	259	21,39	33,96
K	Hidrolavadora	96,53			

Ruido: De acuerdo con los índices propuestos por la OIT (1996) para niveles óptimos de ruido, la hidrolavadora es el área del proceso que tiene mayor nivel de ruido, con 96,53 dB en promedio (Tabla 11), por lo que la duración del ruido debería ser entre una y dos horas. El proceso de *Limpieza de tanques* actual tiene una duración aproximada de 123,83 minutos, por lo tanto, hay un nivel estable de ruido permitido para este tiempo. Adicionalmente, la empresa Slenger S.A. brinda a los colaboradores un par de tapa oídos de copa e inserción para uso diario y obligatorio, que logran una reducción de 21 dB, manteniendo los niveles estables para todos los colaboradores.

Luz: De acuerdo con la tabla propuesta por la OIT (1996) para niveles óptimos de luz, el proceso de *Limpieza de tanques* se clasifica dentro de la percepción aproximada de los detalles y la distinción moderada de los detalles, por lo que las áreas del proceso deben estar entre los 200 y los 300 luxes. Con base en los resultados de la tabla 11, se puede observar que las áreas B, C, I y J, cumplen con los niveles recomendados de luz, mientras que las áreas A y de la D hasta la H, no cumplen con los niveles recomendados de luz, ya que todas están por debajo de los 200 luxes. En este caso, se requiere aumentar estos niveles por medio de la instalación de luminarias que permita brindar una mayor visibilidad para la realización del proceso de *Limpieza de tanques*.

Temperatura y Estrés Térmico: Los datos son tomados por medio de un medidor de estrés térmico para analizar la temperatura presentada en el área. Dentro de las reglamentaciones que existen, el promedio para trabajos leves en un recinto cerrado está entre los 14°C y los 25°C (Temperaturas, 2003). Según la tabla 11, la temperatura promedio dentro de la empresa se encuentra entre los 18°C y 23°C en las áreas del proceso de *Limpieza de tanques*. Según la escala establecida, la empresa posee unos niveles adecuados de temperatura, que permiten realizar todas las tareas del proceso de manera correcta. Adicionalmente, se puede decir que el consumo calórico total de una persona en la empresa en el proceso de *Limpieza de tanques* es de 535 W/m². Este resultado es analizado con los valores brindados por la OIT (1996) para determinar la temperatura máxima a soportar en el proceso de *Limpieza de tanques*. De acuerdo a un metabolismo de 535 W/m², la temperatura máxima soportable en el área del proceso es de 25 °C aproximadamente. Como los niveles están dentro de los 18 °C y 23 °C, no se requiere hacer ninguna intervención térmica. En cuanto al análisis de estrés térmico en el proceso de *Limpieza de tanques*, el promedio se ubica con un porcentaje de 34% - 49% en nivel de humedad. El estándar se ubica con un nivel máximo debajo del 70% (OIT, 1996), por lo que las condiciones en el proceso son óptimas y están muy por debajo del nivel máximo. Dentro del anexo 5 se encuentran todos los datos tomados al detalle de las condiciones ambientales en los puntos establecidos del área de *limpieza de tanques* y se puede observar el análisis detallado de todas estas condiciones.

Tiempo observado proceso Limpieza de tanques: Se toma el tiempo observado de 13 muestras. Dicho tiempo se toma para conocer cuáles son las actividades del proceso y sus correspondientes tiempos, que se pueden observar en el anexo 5. Después de socializar los resultados con el Jefe de Producción se llega a la conclusión de que como son varios los operarios que realizan esta operación, dependiendo del turno donde se va a hacer la

limpieza, se toma una valoración del 100% para calcular el tiempo estándar. Los tiempos en minutos se muestran a continuación:

Tabla 13. Tiempos proceso Limpieza de tanques. Fuente: elaboración propia

LAVADO DE TANQUES	TIEMPO												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Parada de línea													
Total en minutos	106,11	136,9	132,22	96,59	113,85	131,228	122,48	102,34	119,61	96,591	131,1	98,86	116,73

Suplementos: Los suplementos fijos son del 9% y son aquellos que se relacionan con las necesidades personales y la fatiga básica, los suplementos variables se añaden cuando las condiciones de trabajo difieren mucho de las indicadas, como por ejemplo la luz, el ruido, el esfuerzo, las condiciones ergonómicas y la tensión para la ejecución de la tarea, entre otras. Según la tabla definida por la OIT (1996), los suplementos para la empresa Slenger S.A en el proceso de Limpieza de tanques son:

Tabla 14. Suplementos proceso Limpieza de tanques. Fuente: elaboración propia

Proceso de lavado de Tanques	Posición	Carga	Alumbrado	Condición Atmosférica	Atención Estricta	Nivel de ruido	Esfuerzo Mental	Monotonía	Tedio	Suma	Fijos	Total
Valor	9%	1%	2%	1%	2%	2%	1%	1%	5%	24%	9%	33%

Los suplementos totales son de 33% los cuales se explican a detalle en el anexo 5.

Contingencias: Es el tiempo margen que se incluye en el tiempo estándar para prever demoras que no son frecuentes, sino que aparecen inesperadamente. Está compuesta por contingencias variables y por contingencias fijas. Las fijas tienen un valor de 7% y las variables dependen del tiempo observado y se calculan a partir del método de puntos rojos y verdes, como se muestra a continuación:

Tabla 15. Contingencias proceso Limpieza de tanques. Fuente: elaboración propia

	Deltas Verdes	Deltas Rojos
Total	19,32	21,50
Diferencias Deltas	2,19	

TO	115,7419856
----	-------------

Contingencias Variables	1,89%
Contingencias Fijas	7%
TOTAL CONTINGENCIAS	8,89%

Las contingencias para este proceso son de 8,89%. Hay evidencia de los valores detallados de las contingencias (ANEXO 5, Análisis contingencias).

Tiempo Estándar: Finalmente, ya teniendo los datos de valoración, suplementos y contingencias se procede a calcular el tiempo estándar:

Tabla 16. Tiempo estándar proceso Limpieza de tanques. Fuente: elaboración propia

T. Observado	Valoración	TB	Suplementos	Contingencias	Tiempo Estándar
163,5	100	115,7	33%	8,89%	177,36 min

II. Proponer soluciones al procedimiento de Limpieza de tanques a través de la aplicación de la herramienta SMED.

A partir del análisis de las actividades del proceso de *Limpieza de tanques*, se concluye que: *Diligenciamiento de JHA*, *Alistamiento JHA* y *permiso de espacios confinados*, *Alistamiento de elementos de protección individual*, *Diligenciamiento de espacios confinados*, *Levantamiento de escotillas para verificar vaciado de envase en la máquina* y *Colocamiento de elementos de protección individual* representan el 25% de las actividades internas con posibilidad de convertirse en externas y su realización requiere el 80% de tiempo de esta clase.

En cuanto al *Alistamiento y Diligenciamiento del JHA*, se llega a un acuerdo con el departamento de seguridad, de producción y con los colaboradores del área, el cual se enuncia a continuación: Se crea un documento estándar con toda la información de los *JHA* históricos, este documento es firmado por cada uno de los involucrados en el proceso, y en conjunto se mencionan algunas reglas que se deben seguir por estandarizar el documento. Hoy en día ya es un documento oficial en Slenger S.A. y cuenta con la codificación respectiva (ANEXO 6, *JHA* estandarizado). De igual modo, se colocan varias copias de este documento en el área, con el objetivo de eliminar la actividad repetitiva y rutinaria del diligenciamiento de este formato. Respecto al permiso de espacios confinados se programa una capacitación para los colaboradores y se crea un manual (ANEXO 6, Manual permiso espacios confinados) sobre el correcto diligenciamiento de éste. Todo se realiza a partir de la confirmación de que en ocasiones los operarios toman mayor tiempo en el diligenciamiento porque no tienen total claridad al respecto. En relación con el alistamiento de los elementos de protección individual, se asigna un lugar en el área donde pueden almacenar estos elementos. Sumado a esto, como última actividad se sugiere colocar los elementos antes de detener la máquina. Lo anterior se establece porque los operarios sienten fatiga al caminar por la planta con los elementos cuando ya se detiene la máquina. Finalmente, se determina que levantar las escotillas con la máquina encendida no genera ningún riesgo al colaborador y tampoco al producto, razón por la que se decide convertirla en externa.

Para el diagrama de proceso propuesto, las actividades convertidas de internas a externas, las cuales se mencionan anteriormente, toman el 22,12% del tiempo del proceso de *Limpieza de tanques* y pueden realizarse simultáneamente con otras actividades de limpieza sin perjudicar el proceso. Al realizar las modificaciones del diagrama actual a uno propuesto, se puede identificar la reducción de tiempo y distancia en el proceso general de *Limpieza de tanques*, en los diagramas de recorrido y de flujo propuesto en el anexo 4. A continuación se presenta la diferencia de actividades, tiempo y distancia entre los diagramas propuesto y actual:

Tabla 17. Diferencia entre diagrama de proceso actual y propuesto. Fuente: elaboración propia

SIMBOLO	RESUMEN								
	ACTUAL			PROPUESTO			DIFERENCIA		
	No.	Tiempo (min)	Distancia (mts)	No.	Tiempo (min)	Distancia (mts)	No.	Tiempo (min)	Distancia (mts)
	78	120,339	15	72	96,534	0	6	23,805	15
	2	4,74	0	1	2,342	0	1	2,398	0
	1	0,65	0	1	0,65	0	0	0	0
	10	80,34	0	10	80,34	0	0	0	0
	11	7,22	558,4	9	5,739	371,8	2	1,481	186,6
TOTAL	102	213,289	573,4	93	185,605	371,8	9	27,684	201,6
OBSERVACIONES:									

DIAGRAMA DE RECORRIDO
 Empresa: Slenger S.A.
 Proceso: Lavado de tanques.
 Diagramó: María Juliana Estupiñán, Gabriela Andrea Díaz, María Paula Tabares.
 Fecha: Marzo 2 del 2018
 Método: ACTUAL _____
 PROPUESTO _X_
 Hoja 1/1
 Escala 1: 10

El tiempo total del proceso de *Limpieza de tanques* indicado por el diagrama de flujo actual es de 213,28 minutos y la distancia total recorrida durante el proceso es de 573,4 metros. Sin embargo, el tiempo total mencionado anteriormente no es el que dura todo el proceso en realidad, se debe tener en cuenta que el diagrama ilustra las actividades de forma secuencial, y realmente hay actividades que se realizan de forma simultánea. Esto es lo que sucede con las actividades de la 11 a la 22, que inician en el mismo instante, al igual que la 28 y 29, la 46 a 50, la 59 a 61, la 71 a 74 y la 80 a 83. Tomando en cuenta las actividades mencionadas que inician en conjunto de forma simultánea, el tiempo real del proceso es de 123,8 minutos.

Asimismo pasa con el tiempo total indicado del diagrama del proceso propuesto, que es de 185,605 minutos, pero no se toman las actividades que se realizan simultáneamente, por lo que en realidad el tiempo es de 96,41 minutos.

Se eliminan seis actividades que representan el 6,16% del total de actividades del proceso de *Limpieza de tanques* actual. En el diagrama de recorrido y de flujo propuesto se reducen nueve actividades del total ya que una es inspección y operación, y dos son transporte y operación en simultáneo. Por lo anterior, en total se eliminan seis operaciones (representadas por el círculo), una inspección (representada por el cuadrado) y dos transportes (representados por la flecha horizontal). Con la eliminación de las actividades identificadas se reducen 27,6 minutos, que representa el 22,12% del tiempo total del proceso, obteniendo así un tiempo final de 96,41 minutos. La distancia total se reduce 201,6 mts, la cual representa el 35,16% de la distancia total del proceso, obteniendo así una distancia final de 371,8 metros.

III. Realizar comparativo de soluciones propuestas a través de un diseño factorial que permita evaluar el estado actual y propuesto de las condiciones de contaminación en el tanque seis.

Se realiza la verificación de la adecuación del modelo a través de la validación de tres supuestos:

- ❖ Normalidad: Este supuesto se valida con la realización de la prueba de Kolmogorov - Smirnov para los residuales.

De acuerdo a los valores de la tabla 18, se concluye que para las tres variables (pH, conductividad y turbiedad) se cumple el supuesto de normalidad ya que el p valor está por encima de 0,05.

Tabla 18. Prueba de Kolmogorov para validar normalidad

		Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
		Residuo estandarizado para pH	Residuo estandarizado para Conductividad	Residuo estandarizado para Turbiedad
N		53	53	53
Parámetros normales ^{a,b}	Media	,0000	,0000	,0000
	Desviación estándar	,96077	,96077	,96077
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,093	,100	,095
	Positivo	,088	,092	,095
	Negativo	-,093	-,100	-,090
Estadístico de prueba		,093	,100	,095
Sig. asintótica (bilateral)		,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}	,200 ^{c,d}

- a. La distribución de prueba es normal.
- b. Se calcula a partir de datos.
- c. Corrección de significación de Lilliefors.
- d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

- ❖ Homogeneidad: Este supuesto se valida con la prueba de igualdad de Levene de varianzas de error. De acuerdo a los valores de la tabla 19, se concluye que para las tres variables (pH, conductividad y turbiedad) se cumple el supuesto de homogeneidad ya que el p valor está por encima de 0,05.

Tabla 19. Prueba de Levene para validar homogeneidad

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^a					Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^a					Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^a				
Variable dependiente: Turbiedad					Variable dependiente: pH					Variable dependiente: Conductividad				
F	df1	df2	Sig.		F	df1	df2	Sig.		F	df1	df2	Sig.	
,476	8	44	,866		1,067	8	44	,403		,824	8	44	,586	

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.^a
a. Diseño : Intersección + Nivel.de.caudal + Nivel. acido

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.^a
a. Diseño : Intersección + Nivel.de.caudal + Nivel. acido

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.^a
a. Diseño : Intersección + Nivel.de.caudal + Nivel. acido

❖ **Independencia:** Este supuesto se valida con la prueba de rachas
De acuerdo a los valores de la tabla 20, se concluye que para las tres variables (pH, conductividad y turbiedad) se cumple el supuesto de independencia ya que el p valor está por encima de 0,05.

Tabla 20. Prueba de rachas para validar independencia

Prueba de rachas			
	Residuo estandarizado para pH	Residuo estandarizado para Conductividad	Residuo estandarizado para Turbiedad
Valor de prueba ^a	-,09	-,03	-,04
Casos < Valor de prueba	26	26	26
Casos >= Valor de prueba	27	27	27
Casos totales	53	53	53
Número de rachas	31	11	24
Z	,974	-4,576	-,969
Sig. asintótica (bilateral)	,330	,330	,333

a. Mediana

Con el uso del aplicativo diseñado (ANEXO 8, Aplicativo *Excel*), el ácido sulfúrico se logra controlar para este experimento y para futuras aplicaciones que la empresa desee hacer de acuerdo a las condiciones que quiera manejar. Cabe resaltar que para lograr el éxito esperado en el proceso, se busca que las tres variables medidas (*pH*, *conductividad* y *turbiedad*) no sobrepasen el nivel alto de su respectiva escala. De lo anterior, se obtienen los siguientes resultados:

pH

- 1. Se confirma que el ácido sulfúrico tiene efecto sobre el *pH*. Donde el nivel bajo (0,7 mL) genera un mayor nivel de *pH*, mientras que los niveles medio (1,5 mL) y alto (2,3 mL) dan los mismos niveles bajos de *pH*, por lo que se considera el nivel 2, para mantener los niveles de *pH* deseados. (R ajustado = 14%)
- 2. Se confirma que el caudal no tiene efecto sobre el *pH*.

Conductividad

- Se confirma que el ácido sulfúrico tiene efecto sobre la *conductividad*. Donde el nivel medio (1,5 mL) genera un menor nivel de *conductividad*, mientras que los niveles bajo (0,7 mL) y alto (2,3 mL) dan los niveles más altos de *conductividad*, por lo que se considera el nivel medio, para mantener los niveles de *conductividad* deseados. (R ajustado = 6%)
- Se confirma que el caudal no tiene efecto sobre la *conductividad*.

Turbiedad

- Se confirma que el caudal tiene efecto sobre la *turbiedad*. Donde el nivel alto (3 gal/min) genera un menor nivel de *turbiedad*, mientras que los niveles bajo (1 gal/min) y medio (2 gal/min) dan los niveles más altos de *turbiedad*, por lo que se considera el nivel alto, para mantener los niveles de *turbiedad* deseados. (R ajustado = 5%)
- Se confirma que el ácido sulfúrico no tiene efecto sobre la *turbiedad*

De acuerdo a lo anteriormente observado, se logra identificar que el nivel de ácido **medio** (1,5 mL) y el nivel de caudal **alto** (3 gal/min) combinados, son los que logran mantener el *ph* y la *conductividad* dentro de las especificaciones del tanque seis dadas por Casa Matriz, así como también mantener en un nivel bajo la variable *turbiedad*. Se cuenta con evidencia de todas las tablas y diagramas obtenidos en SPSS con su respectiva explicación (ANEXO 7, Resultados diseño de experimentos).

IV. Diseñar un procedimiento que contribuya a la disminución de los niveles de contaminación del tanque seis.

A partir del análisis de los resultados del diseño factorial, en donde se definen los niveles adecuados de los dos factores para controlar las variables, se propone una alternativa de solución que consiste en un proceso con ciertos procedimientos a seguir. Lo anterior con el fin de mantener unos índices de contaminación bajos en el tanque seis y por lo tanto disminuir la cantidad de veces que se realiza el proceso de *Limpieza de tanques* al mes. Se diseña un proceso para controlar las especificaciones de los factores caudal y ácido, y las variables *ph* y *conductividad* en el tanque. No se propone la *turbiedad* ya que no es una variable controlada diariamente por la empresa pues la planta no cuenta con un turbidímetro y tampoco hay un nivel máximo investigado por expertos que indiquen la contaminación en los contenedores por ésta.

Se propone que el proceso se realice diariamente cada cuatro horas. Al inicio del turno, el colaborador encargado debe aplicar la cantidad propuesta de ácido de 1.5 mL al tanque y también verificar que el nivel de caudal del tanque seis se mantenga en 3 gal/min, que es el propuesto. Lo anterior para garantizar en cada turno que el tanque seis se mantenga dentro de las especificaciones de *pH* y *conductividad* propuestas por Casa Matriz, para no aumentar el índice de contaminación y no recurrir al proceso de *Limpieza de tanques*. En caso de que en uno de esos controles, los niveles de *ph* y *conductividad* no sean los adecuados, se debe recurrir al proceso de *Limpieza de tanques*, ya que son condiciones que no pueden ser controladas. A continuación se presenta el diagrama de proceso propuesto que contribuye a la disminución de las variables de contaminación del tanque seis:

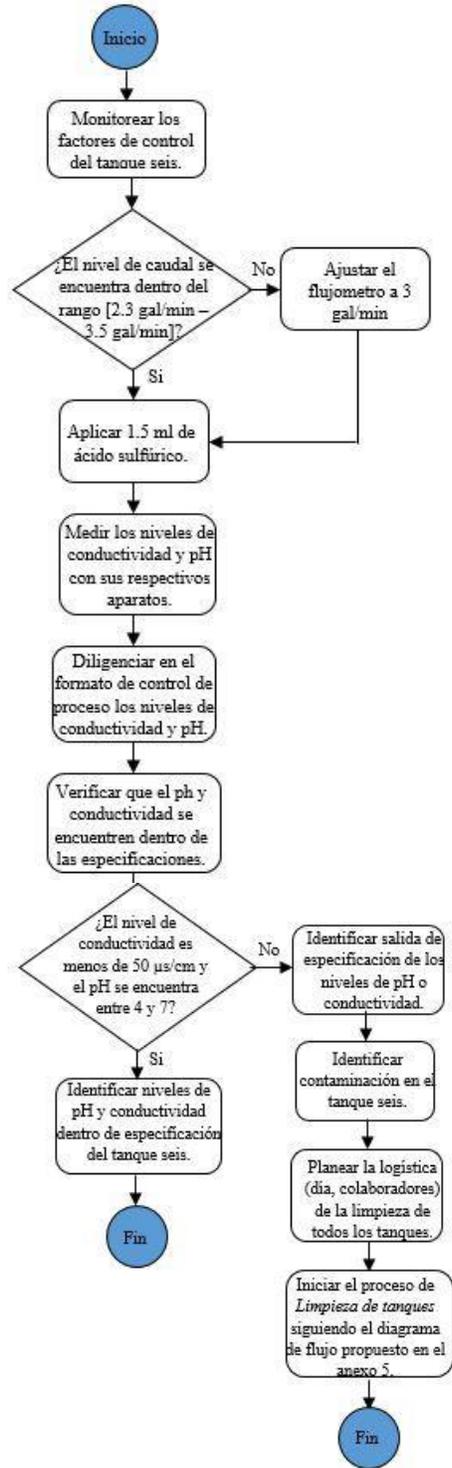
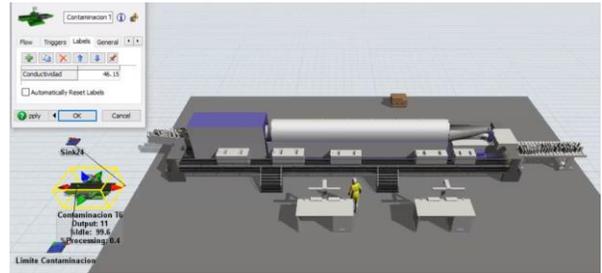


Gráfico 3. Diagrama de proceso propuesto para disminuir niveles de pH y conductividad. Fuente: elaboración propia

V. Analizar mejoras propuestas del proceso de Limpieza de tanques y el procedimiento propuesto a través de una simulación donde se compare el estado actual y el propuesto.

De acuerdo a los dos modelos que se desean simular, se distinguen de la siguiente forma:

- **Histórico:** Refleja las condiciones de la empresa, tanto en el tiempo de duración del proceso actual de *Limpieza de tanques* (112,6 minutos), como en la tasa actual de contaminación de los tanques (0,51 $\mu\text{s}/\text{cm}$ / 240 minutos)
- **Propuesto:** Muestra las condiciones propuestas para la empresa, donde se muestra la reducción propuesta en el tiempo de duración de la *Limpieza de tanques* (84 minutos), como en la nueva tasa de contaminación de los tanques que es modificada por la alternativa propuesta (0,29 $\mu\text{s}/\text{cm}$ / 240 minutos).
- **Histórico**



Se simula el proceso de *Limpieza de tanques* con las actividades y tiempos que se realizan actualmente de acuerdo al diagrama de flujo actual del anexo 4. Adicionalmente se simula la tasa de contaminación de la conductividad a través del tiempo, hasta que se activa la *Limpieza de tanques* y nuevamente queda reseteado el sistema. Cada réplica está diseñada para evaluar la cantidad de veces que se lavan los tanques durante un año y notificar el tiempo en minutos que se pierde cada año por estas paradas. Con base en lo anterior, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 21. Resultados simulación proceso Limpieza de tanques histórico. Fuente: elaboración propia.

RESUMEN RESULTADOS ESTADO HISTORICO	
112.6	minutos/ por lavado de tanques
3394	minutos
56.7	horas
8145600	Envases sin producir
Ganancia de la empresa si pasa de exportar a producir localmente	\$61 pesos / envase
TOTAL COSTO DE LA EMPRESA	\$ 496,881,600

Con la simulación de las condiciones actuales de la empresa, se deja de producir anualmente 8'145.600 millones de envases teniendo un costo adicional para la empresa de \$496.881,600 millones de pesos. Se realiza un informe de los resultados obtenidos por *FlexSim* del estado histórico en un documento detallado (ANEXO 9).

Los resultados del estado histórico fueron validados a través de un intervalo de confianza, para garantizar que los valores obtenidos están dentro del rango de datos del estado histórico de la empresa. a continuación se muestra los valores obtenidos con un error del 5%:

- Intervalo de confianza para el estado histórico de la empresa, tomando el tiempo perdido anualmente en minutos, que se pierde en la empresa por la activación del proceso de Limpieza de Tanques:

$$\bar{x} = 3471 \text{ minutos/año}$$

$$\sigma = 765,018 \text{ minutos}$$

$$n = 30 \text{ muestras}$$

$$\alpha = 0,05$$

$$\bar{x} - z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} = \frac{3471 - 3394}{765,018} = 0,1$$

$$z = 0,1$$

$$z \frac{\alpha}{2} = 0,54975$$

$$\mu = 3394 \text{ minutos/año}$$

$$3471 - 0,54975 * \frac{765,018}{\sqrt{30}} \leq \mu \leq 3471 + 0,54975 * \frac{765,018}{\sqrt{30}}$$

$$3471 - 139,67 \leq \mu \leq 3471 + 139,67$$

$$3331,33 \leq \mu \leq 3610,67$$

Se concluye que el valor de $\mu = 3394$ entra dentro del intervalo de confianza de medias, tomando la tasa de limpieza de tanques promedio real de la empresa Slenger S.A, siendo 30 anualmente.

- Intervalo de confianza para el estado actual de la empresa, tomando el tiempo de duración del proceso de Limpieza de Tanques:

$$\bar{x} = 115,7 \text{ minutos}$$

$$\sigma = 18,65 \text{ minutos}$$

$$n = 13 \text{ muestras}$$

$$\alpha = 0,05$$

$$z = 0,212$$

$$z \frac{\alpha}{2} = 0,58905$$

$$\mu = 112,6 \text{ minutos}$$

$$\bar{x} - z \frac{\alpha}{2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z \frac{\alpha}{2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} = \frac{115,7 - 112,6}{18,577} = 0,212$$

$$115,7 - 0,58905 * \frac{18,65}{\sqrt{13}} \leq \mu \leq 115,7 + 0,58905 * \frac{18,65}{\sqrt{13}}$$

$$115,7 - 3,049 \leq \mu \leq 115,7 + 3,049$$

$$112,55 \leq \mu \leq 118,649$$

Se concluye que el valor de $\mu = 112,6$ entra dentro del intervalo de confianza de medias, tomando la tasa de limpieza de tanques promedio real de la empresa Slenger S.A, siendo 115,7 minutos cada lavado.

- Propuesto**

Se simula el proceso de *Limpieza de tanques* creado en el diagrama de operaciones propuesto del anexo 4, en donde se remueven las actividades y tiempos que mejoran el proceso y no afectan a la operación de acuerdo al análisis SMED. Adicionalmente se usa la tasa de contaminación de la *conductividad* a través del tiempo obtenida en el experimento realizado. Cada réplica está diseñada para evaluar la cantidad de veces que se lavan los tanques durante un año y notificar la duración del tiempo en minutos que se pierde cada año por estas paradas. Con base en lo anterior, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 22. Resultados simulación proceso Limpieza de tanques propuesto. Fuente: elaboración propia.

RESUMEN RESULTADOS ESTADO PROPUESTO	
84	minutos/ por lavado de tanques
1526	minutos
25,43	horas
3662400	Envases sin producir
Ganancia de la empresa si pasa de exportar a producir localmente	\$61 pesos / envase
TOTAL COSTO DE LA EMPRESA	\$ 223,406,400

Con la simulación propuesta, se deja de producir anualmente 3'662.400 millones de envases teniendo un costo adicional para la empresa de \$223.406,4, millones de pesos. Se realiza un informe de los resultados obtenidos por *FlexSim* del estado propuesto en un documento detallado (ANEXO 10). De acuerdo a esto, con las condiciones propuestas se obtiene una reducción del 55% en el número de envases que se dejan de producir y en los costos a los que incurre la empresa al importar los envases. Lo anterior muestra una reducción en el número de veces que se lavan los tanques, pasando de hacer 31 limpiezas por año, a solamente 19. Adicionalmente, al

implementar la propuesta obtenida con la ruta crítica del proceso de *Limpieza de Tanques* se ve una reducción en el tiempo de duración del proceso pasando de 125,5 minutos/promedio a 84 minutos/promedio, lo que representa una reducción y mejora final de un 25%. Los resultados obtenidos por el *FlexSim* del estado propuesto se pueden ver en el anexo 10.

Conclusiones y recomendaciones

- Los niveles de luz del área del proceso de *Limpieza de tanques* no cumplen con los estándares requeridos que exigen un nivel por encima de los 200 luxes. Por lo anterior se requiere aumentar estos niveles por medio de la instalación de luminarias que permita brindar una mayor visibilidad para la realización del proceso.
- Las actividades *Alistamiento y Diligenciamiento de JHA y permiso de espacios confinados, Alistamiento y Colocamiento de elementos de protección individual y Levantamiento de escotillas para verificar vaciado de envase en la máquina* hacen parte de la ruta crítica del proceso de *limpieza de tanques* y representan el 6,67% del total de actividades. Estas son seleccionadas con ayuda de la herramienta SMED para convertirlas en actividades externas con el propósito de reducir el 22,12% del tiempo total del proceso y el 35,16% de la distancia total recorrida durante este.
- El análisis estadístico del experimento demuestra que únicamente hay un efecto del nivel de caudal sobre la *turbiedad*, rechazando la hipótesis de la empresa en cuanto a la relación del ácido con esta variable.
- La turbiedad es una variable determinante para proceder con la *Limpieza de tanques* dada la siguiente ecuación: $\text{contaminación} = \max(\% \text{conductividad}, \% \text{turbiedad}, \% \text{pH})$. Con base en esto, es necesario fijar niveles estándar y llevar un registro de control diario de esta variable como actualmente se hace con la *conductividad* y el *pH*, minimizando posibles errores dados por criterios subjetivos de los colaboradores. Por lo anterior, se recomienda el uso de un turbidímetro para la medición.
- Existe relación entre la cantidad de ácido y la conductividad de acuerdo al análisis estadístico del experimento factorial, contrario a la hipótesis de la empresa que afirmaba que la conductividad se controlaba a través del aumento del caudal.
- El nivel de ácido medio (1,5 mL) y el nivel de caudal alto (3 gal/min) combinados, logran mantener las variables de *pH* y *conductividad* dentro de las especificaciones del tanque seis dadas por Casa Matriz durante el experimento, presentando la mayor estabilidad en el transcurso de este. A pesar de ello, el R ajustado de la regresión lineal para las variables de *conductividad*, *ph* y *turbiedad* es muy bajo dificultando la predicción. De acuerdo a lo expuesto previamente, se recomienda repetir el experimento con más muestras para determinar el estándar.
- Se crea un aplicativo con ayuda del programa *Microsoft Excel* que permite mantener la concentración de ácido en las condiciones estipuladas de caudal durante cierto periodo de tiempo, se recomienda que al momento de determinar el estándar de ácido y nivel de caudal, se haga uso de este aplicativo asegurando que la concentración se mantenga.
- De acuerdo a la simulación, con la situación actual de la empresa, se presenta una tasa de 1 limpieza cada 40.600.000 envases, si se pronostica un año de producción de 750.000.000 de envases, indicaría que se deben realizar 19 limpiezas aproximadamente en el año con una duración de 112.6 minutos cada una, lo cual abarca 35.6 horas que se deja de producir en el año por este proceso y que reflejadas en envases se aproxima a los 5.100.000. Con las propuestas diseñadas, se obtiene una reducción a 12 limpiezas anuales con el mismo pronóstico de 750.000.000 de envases, cada una con una duración aproximada de 84 minutos, disminuyendo los sobrecostos en \$165.600.000.
- Respecto a las posiciones ergonómicas de los colaboradores al ingresar a los tanques, se recomienda estudiarlas con el departamento de seguridad y la ARL. Pese a que no se realizó el estudio detallado de estas condiciones, los colaboradores manifestaron en las entrevistas grandes incomodidades, igualmente se evidencia esto en los videos.
- Se recomienda instalar un punto de conexión eléctrica en el área donde se realiza el proceso con el fin de conectar la extensión de la hidrolavadora, con ello se evitaría un transporte de 131,4 metros y un tiempo de 4,58 minutos.
- Se aconseja la revisión de los elementos de protección ya que sus materiales generan fatiga a los colaboradores.

- En caso de ejecutar los cambios propuestos a través de la herramienta SMED y el diseño de experimentos, se recomienda entrenar a los colaboradores en el nuevo método propuesto para la realización del proceso de *Limpieza de tanques*.

5. Glosario

Ácido sulfúrico reactivo analítico: Sustancia empleada para controlar el nivel de pH en los tanques de la empresa Slenger S.A.

Actividades rutinarias de producción: estas actividades ocurren normalmente mientras la máquina está habilitada para producir y se incluyen en los planes semanales y diarios de producción.

Caudal o flujo de agua: Cantidad de agua que lleva una corriente desde una fuente controlada por un flujómetro de la empresa Slenger S.A.

Cambio de Coils: consiste en reemplazar el rollo de lámina de aluminio que finalizó por uno totalmente nuevo, esto se realiza en la primera etapa del proceso.

Cambios de diseño: comprende todas las actividades que se tienen en cuenta al momento de cambiar de una referencia de envase a otra.

Cambios de código de producción: al realizar un cambio de diseño se debe registrar en el sistema y en la máquina, el código de la nueva referencia. Para esto, es necesario tener las impresoras detenidas.

Coil: rollos de lámina de aluminio.

Colocamiento de elementos de protección individual: consiste en colocarse las botas de caucho amarillas, el traje de seguridad para el lavado, la máscara respiratoria, las mono-gafas y la protección auditiva.

Conductividad: Es la medida o indicador de la propiedad natural de una sustancia de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido.

CUTE: software implementado por Slenger S.A., sus siglas significan Capacidad, Utilización, Tiempo y Eficiencia. Le permite a la empresa identificar las actividades que generan mayor impacto a la eficiencia de la línea de producción a través de los tiempos de parada.

Diagrama Pert-Time: este diagrama se crea con el fin de identificar la ruta crítica de un proceso, en este se colocan las actividades, los tiempos y la dependencia de las mismas.

Diligenciamiento de Job Hazard Award (JHA): es una actividad que hace parte del programa de seguridad de Slenger. Esta consiste en diligenciar un formato donde se analizan todos los posibles riesgos que se presentan al ejecutar cualquier actividad, los elementos de protección personal con los que se debe contar y en caso de emergencia qué se debe hacer.

Diligenciamiento de permiso de espacios confinados: es una actividad que hace parte del programa de seguridad de Slenger. Esta consiste en diligenciar un permiso de espacios confinados previo al ingreso para que se realice la toma de medidas respectivas y se autorice o no el ingreso según los resultados.

Eficiencia Operacional: Indicador que determina lo eficiente que ha sido la máquina/planta durante cierto periodo de tiempo (Slenger S.A., 2017). Está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia Operacional} = (\text{Producción real} / \text{Producción neta esperada}) \times 100$$

FlexSim: es un software que permite la simulación de cualquier proceso con el modelo de eventos discretos.

Sector metalmeccánico y siderúrgico: La actividad de la siderurgia comprende una larga serie de fases productivas que van desde la obtención del acero hasta las diferentes líneas de producción (Reporte anual Aceros Ferrasa, 2009). La metalmeccánica es la industria que se encarga de transformar el acero en bienes que van desde laminados, tuberías, estructuras metálicas y alambres, hasta maquinaria industrial como ascensores y calderas (PROCOLOMBIA, 2016).

Levantamiento de escotillas para verificar vaciado de envase en la máquina: esta actividad consiste en levantar unas tapas que tiene la máquina para tener visibilidad del envase que pasa por esta.

Limpieza de boquillas y ductos: el envase requiere como norma sanitaria ser cubierto con una capa de laca al interior para evitar el contacto directo de la bebida con el material de envase. Para garantizar la correcta distribución de la laca en el envase, se debe llevar a cabo una rutina de limpieza en las boquillas aplicadoras de manera que estas no presenten acumulación excesiva de laca u obstrucción por contaminación externa. Este proceso se debe realizar en las 7 máquinas aplicadoras de laca con las que cuenta Slenger S.A.

Limpieza de correas del BRC: en las impresoras, existen unas correas llamadas BRC. Estas correas están en permanente contacto con químicos y se deben limpiar constantemente para asegurar que el envase no presente contaminación.

Limpieza de tanques: consiste en la Limpieza de los tanques de la máquina encargada del lavado del envase. En esta etapa de lavado, el envase es sometido a diversos enjuagues con químicos para retirar cualquier tipo de residuo nocivo para la salud.

Microsoft Excel: Es un programa utilizado empleado para tareas financieras y contables, con fórmulas, gráficos y un lenguaje de programación.

Microsoft project: es un software administrador de proyectos para planear, asignar recursos a tareas, dar seguimiento a progresos, administrar presupuesto y analizar cargas de trabajo, entre otras.

Muestreo de envases para pruebas de calidad: Slenger S.A. realiza diferentes chequeos con el fin de controlar variables del proceso y producir envases de excelente calidad, para esto, se toman muestras de diferentes etapas del proceso. En algunas ocasiones se debe parar maquinaria completa para sacar los envases.

pH: Es la medida o indicador del grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

Política World Class Performance, Desempeño de Clase Mundial (WCP): a nivel global, se adopta esta política, para describir el mejoramiento continuo en todas las plantas de Slenger. Este sistema está basado en una política y 7 dimensiones de mejoramiento: Primero Calidad, Servicio al Cliente, Seguridad en el trabajo, Innovación, Trabajo en Equipo, Manufactura y Cadena de suministro (Slenger S.A., 2017).

Producción neta esperada: Cantidad teórica de envases aptos para la venta que **deberían producirse** en cierto periodo de tiempo teniendo en cuenta las velocidades máximas de las máquinas, el tiempo de operación de Slenger (24 horas los 7 días de la semana) y descontando tiempos de no operación por causas ajenas al proceso como cortes de energía.

Producción real: Cantidad real de envases aptos para la venta que **se producen** en cierto periodo de tiempo.

Turbiedad: Es la medida o indicador del grado de transparencia de un líquido, el cual se pierde por la presencia de partículas en suspensión.

Referencias

- ANDI. (2012). Estructura del sector siderúrgico y metalmecánico colombiano. Recuperado de: <http://www.andi.com.co>
- Banco de la República. (2015). ¿Qué es producto interno bruto PIB?. Recuperado de: <http://www.banrep.gov.co/es/contenidos/page/qu-producto-interno-bruto-pib>
- Bavaria. (2015). Informe a la Asamblea General Ordinaria de Accionistas sobre la gestión adelantada por los administradores de Bavaria S.A. durante el primer semestre de 2015. Recuperado de: <http://www.bavaria.co/sites/g/files/ogq8776/f/201710/Informe%20Gesti%C3%B3n%20Bavaria%202015.pdf>
- Córdova L. A., Molina J., Gómez M., y Martínez E. A. (2016). Diseño de un control jerárquico por medio de sistemas de eventos discretos para el Sistema Mecatrónico I de Fischertechnik. *Cultura Científica Y Tecnológica*, 13(S1), 15-25.
- Delgado F. N y Gallo E. (2011). Propuesta del mejoramiento de la metodología de Manufactura Esbelta por medio de optimización de sistemas de manufactura y modelación de eventos discretos. *Iteckne*, 8(2), 119-131.
- Fuentes M. C., López F. J., Campos D. A. y Chavarría M. C. (2016). Reducción de tiempo de ciclo del área de corte mediante la aplicación de la técnica smed. *Cultura Científica Y Tecnológica*, 13(S1), 244.
- ISO (2003). ISO/TR 10017:2003 Orientación sobre las técnicas estadísticas para la Norma ISO 9001:2000. Recuperado de: <https://gastonperez.files.wordpress.com/2011/12/iso-tr-10017-2003-tecnicas-estadisticas-espanol.pdf>
- Karasu, M. K., Cakmakci, M., Cakiroglu, M. B., Ayva, E., y Demirel-Ortabas, N. (2014). Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production. *Measurement*, 741. doi:10.1016/j.measurement.2013.09.035
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., y Sturrock, D. T. (2008). *Simulación con software Arena*. New York, USA. Editorial: McGraw - Hill Interamericana.
- Lozano J., Martínez E., Blanco J., Saenz J. y Jiménez E. (2017). Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 3607-3618.
- Morera Fabiola, comunicaciones. (2016). Sector metalmecánico y siderúrgico aporta 10.6% al PIB nacional. Recuperado de: <http://fabiolamorera.com.co/sector-metalmecanico-y-siderurgico-aporta-10-6-al-pib-nacional/>
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Balderas, México: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Montoya, C., Cruz, C. H., Torres, P., Laín, S., y Escobar, J. C. (2012). Evaluación de las condiciones de mezcla y su influencia sobre el cloro residual en tanques de compensación de un sistema de distribución de agua potable. *Ingeniería Y Ciencia*, 8(15), 9-30.
- Morales, J. y Silva, R. (2016). Set-up reduction in an interconnectiom axle manufacturing cell using SMED. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1907 – 1916
- Niebel, B. W. (2014), *Ingeniería industrial : métodos, estándares y diseño del trabajo*. México D.F. México. Editorial: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR.

Organización Internacional del Estudio del Trabajo (1996), *Introducción al estudio del trabajo*. Ginebra, Suiza. Editorial: Limusa S.A. de C.V.

Ordoñez Y. C., Rodríguez C., y Suárez L. (2017). Determination of optimal conditions for obtaining phosphate fertilizer from cuban phosphoric rock. *Ingeniería Y Competitividad*, 19(2), 131-142.

PROCOLOMBIA. (2016). Industria Metalmeccánica en Colombia. Recuperado de:
<http://www.procolombia.co/compradores/es/explore-oportunidades/industria-metalmec-nica>

Aceros ferrasa (2009). Reporte anual Aceros Ferrasa. Recuperado de:
https://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/EE_Coy20091222044525.pdf

Rexam. (2015). Reporte anual Rexam. Recuperado de:
[file:///C:/Users/Julio%20Estupi%C3%B1an/Downloads/Rexam%20%202015%20Annual%20Report%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Julio%20Estupi%C3%B1an/Downloads/Rexam%20%202015%20Annual%20Report%20(1).pdf)

Segovia, J. N., Garvs, J. G., y Pozo, L. P. (2016). Determinación de restricciones de capacidad de producción en proceso de obtención de cobre. *INGENIARE - Revista Chilena De Ingeniería* (24). 49-59.

Shingo, S. (1985). *A Revolution in manufacturing: The SMED system*. Productivity Press, Portland, Oregon. Editorial: CRC Press

Slenger S.A. (2017). Indicadores de producción. Recuperado de: URL protegida por confidencialidad de la empresa

Slenger S.A. (2017). Manual de gestión integral. 1- Introducción. Recuperado de: URL protegida por confidencialidad de la empresa

Trovinger, S. y Bohn, R. (2005). Setup Time Reduction for Electronics Assembly: Combining Simple (SMED) and IT-Based Methods. *Production & Operations Management*, 14(2), 205.

Valderrama, A., Hernández, C., Ponce, S., y Manrique, L. (2017). Uso del diseño factorial en los ensayos de liberación controlada del ácido 1,3 indolacético cargado en matrices de quitosano. *Revista De La Sociedad Química Del Perú*, 83(3), 354-365.