

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN EN UNA PYME METALÚRGICA UTILIZANDO SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Anselmino, Agustina; Pérez, Juan Pablo; Cedaro, Karina; Cóccola, Mariana

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay
anselminoa@frcu.utn.edu.ar; juanppabloperez5@gmail.com; cedarok@frcu.utn.edu.ar;
marcoccola@santafe-conicet.gov.ar

RESUMEN

En este trabajo se expone el desarrollo de un estudio de simulación para evaluar los tiempos de producción en una PyME metalúrgica dedicada a la fabricación de implementos para minicargadoras. La empresa utiliza un sistema de fabricación job shop, contando con diferentes productos y secuencias de operaciones. El objetivo del estudio es identificar los recursos críticos y optimizar la performance, considerando los tiempos de procesamiento, máquinas, operarios, productos, materias primas, y demás recursos del proceso productivo. El modelo computacional se desarrolla en el software de simulación SIMIO, que permite modelar, simular y visualizar computacionalmente la línea de producción en 3D. Posteriormente, se realiza una experimentación considerando diferentes escenarios de funcionamiento y se proponen mejoras para reducir los tiempos de producción.

Palabras Claves: Simulación, PyME Metalúrgica, Tiempos de Producción, Mejora.

ABSTRACT

This work describes the development of a simulation study to evaluate the production times of a metallurgical SME dedicated to the manufacture of attachments for skid steer loaders. The company uses a job shop manufacturing system, with different products and sequences of operations. The objective of the study is to identify critical resources and optimize performance, considering processing times, machines, operators, products, raw materials, and other resources of the production process. The computational model is developed in the SIMIO simulation software, which allows modeling, simulating and visualizing the production line in 3D. Subsequently, experimentation is carried out considering different operating scenarios and improvements to reduce production times are proposed.

Keywords: Simulation, Metallurgical SME, Production Times, Improvement.

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios constantes en los requerimientos del mercado y la incertidumbre inherente de la demanda obligan a las empresas de manufactura a ajustar sus procesos de producción, identificando los recursos críticos que afectan la productividad deseada y sus costos asociados.

En este contexto, la simulación se presenta como una herramienta útil para el análisis de la dinámica de los sistemas de manufactura que operan bajo incertidumbre, facilitando la evaluación de estrategias de operación alternativas. Las técnicas de simulación pueden mejorar significativamente el rendimiento de los procesos de fabricación en diferentes fases, como la planificación, la implementación y las fases operativas (Huynh, Akhtar, & Li, 2020).

Entre todos los paradigmas de simulación existente, la Simulación de Eventos Discretos (DES, por sus siglas en inglés) es uno de los más utilizados para el estudio y análisis de procesos de manufactura (Negahban & Smith, 2014). En general, DES se puede utilizar para modelar, simular, optimizar y visualizar procesos de producción, sistemas, flujos de materiales, actividades logísticas y otras operaciones vinculadas. Gracias a su gran flexibilidad, DES permite experimentar sobre diferentes alternativas de funcionamiento de los procesos estudiados y brindar respuestas sobre el resultado de: (i) recambio de equipos y máquinas, (ii) incorporación de nuevas tecnologías que permitan mejorar la eficiencia en el consumo energético o de materias primas, (iii) modificaciones en procesos que se orientan a optimizar consumos, reducir pérdidas de productos o materias primas y reducir riesgos ambientales.

Si bien DES se ha utilizado ampliamente para estudiar diversos sistemas desde un punto de vista académico, su aplicación a entornos reales de producción presenta mayores dificultades, sobre todo en lo que respecta a la recolección de datos y análisis de la estructura del proceso productivo para su posterior representación computacional en un simulador. Estas actividades requieren de un trabajo colaborativo y continuo entre el equipo que lleva adelante el proyecto de simulación y los responsables de producción en el sistema real, principalmente en aquellas empresas que no cuenten con un área específica para Investigación y Desarrollo.

La aplicación de Tecnología de la Información como soporte a los sistemas productivos representa una herramienta fundamental para todas las industrias. Sin embargo, en Argentina, la situación actual de las PyMEs se caracteriza por un marcado atraso tecnológico si se lo compara con el funcionamiento de grandes empresas multinacionales. Según un informe de la Fundación del Observatorio PyME, las pequeñas y medianas empresas que se han vinculado con organismos de ciencia y tecnología se han destacado por ser las más productivas y exportadoras (Fundación Observatorio PYME, 2017). Este informe destaca que, entre los principales desafíos actuales de la política pública a favor de la innovación, se encuentra la necesidad de promover y favorecer una mayor vinculación de las PyMEs con las instituciones y organismos públicos y privados en condiciones de brindar asistencia técnica a estas empresas. Mejorar las prácticas actualmente utilizadas podría significar una gran oportunidad para mejorar la capacidad operativa de las PyMEs industriales, otorgando un valioso impulso a su competitividad.

Este trabajo describe una experiencia práctica sobre el uso de la simulación de eventos discretos para el modelado y análisis del proceso de producción de una PyME Metalúrgica que se especializa en la fabricación de implementos para minicargadores, destinados en su mayoría a la industria de la construcción. El objetivo del estudio de simulación es evaluar el funcionamiento actual de una de las líneas de producción de la empresa y proponer mejorar en el funcionamiento de esta con el objetivo de reducir los tiempos de producción y mejorar las tasas de cumplimiento en los tiempos de entrega pactados con los clientes. El modelo de simulación se desarrolló en el software SIMIO (<https://www.simio.com/>) que permite modelar, simular y visualizar computacionalmente la línea de producción con vista 3D.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

El desarrollo del modelo de simulación exige la comprensión del sistema productivo real. En el caso del presente proyecto, la empresa utiliza un sistema de fabricación job shop, en el que se gestionan diversos productos y secuencias de operaciones.

La producción de implementos que la empresa ofrece se organiza en cuatro líneas de producción: A, B, C y D. Cada línea de producción se especializa en la fabricación de implementos particulares, con el objetivo de lograr una distribución equilibrada en términos de su nivel de complejidad. La diversidad de implementos fabricados por las distintas líneas abarca: (i) la línea A se encarga de la producción de

excavadores; (ii) la línea B se ocupa de la fabricación de zanjadoras, hormigoneros, garras, y palas; (iii) la línea C se especializa en la producción de barredoras, hoyadoras, niveladores y removedores; (iv) la línea D se dedica a la fabricación de vibrocompactadores y portapallets. En este trabajo, se analiza la línea de producción D, específicamente el proceso de producción de 3 tipos de vibrocompactadores en 2 tamaños diferentes. El vibrocompactador más simple está integrado por 9 subconjuntos, los cuales se conforman a partir de 55 componentes producidos en la línea. El peso del producto fluctúa entre 833 y 964 kilogramos, y el ancho varía entre los 1,6 y 1,9 metros, en ambos casos dependiendo del modelo y la versión. El análisis y la simulación se centrarán en esta línea de producción en particular, evaluando su eficiencia y rendimiento en la producción de los vibrocompactadores.

Las órdenes de producción se generan a partir de las solicitudes de los clientes, mediante el esquema make-to-order. El área de diseño y desarrollo opera con modelos estándar, que únicamente sufren modificaciones en casos de fallos o para la creación de nuevas versiones. En estos ajustes, se tienen en cuenta la seguridad, el manejo y la durabilidad del producto.

Como se muestra en la Figura 1, el proceso productivo comienza con el corte de los materiales, de acuerdo con las especificaciones de diseño, seguido por el plegado de las piezas que lo requieren. Las piezas cortadas y/o plegadas son amoladas para limpiar los residuos provenientes del corte de las piezas, incluyendo algún rasgo de corrosión que pueda estar presente. Algunas piezas requieren de una operación de fresado para lograr la precisión adecuada. Luego continúa la etapa de armado y soldado, en la que se lleva a cabo el ensamblaje de las piezas previamente cortadas y fresadas. Aquí, mediante el punteo y el cordón de soldadura se da forma a los subconjuntos específicos de cada producto. Dichos subconjuntos luego se lavan y se pintan, tanto con fines estéticos como de protección contra la corrosión y otros factores ambientales. Ambas etapas, tanto lavado como pintura, requieren de un tiempo de secado, el cual está incluido en cada una de ellas. Finalmente, los subconjuntos lavados y pintados junto a componentes de índole mecánica y kits de hidráulica y bulonería son ensamblados para formar el implemento completo, el cual es sometido a un control final de calidad (en un banco de pruebas) considerando la movilidad y el funcionamiento de los sistemas hidráulicos y mecánicos para asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

Una vez que los implementos han superado el control de calidad, se procede al empaque cuidadoso en pallets para su posterior distribución. Para tal fin, se trabaja con servicios tercerizados de transporte y logística, garantizando la entrega puntual y en óptimas condiciones.

En el proceso productivo descrito, la capacidad está en gran medida en manos del operador, ya que tareas como soldar, lavar y pintar, y llevar a cabo el ensamblaje final requieren habilidades y trabajo manual.

3. ETAPAS DEL PROYECTO DE SIMULACIÓN

Debido a que la empresa estaba teniendo retrasos en los tiempos de entrega de los productos y para no perder clientes ante nuevos competidores que se están instalando en la región, el gerente de la compañía decide buscar asistencia técnica para evaluar el funcionamiento de la línea de producción de vibrocompactadores e identificar si los retrasos en los tiempos de entrega se deben a una velocidad lenta del flujo de materiales o por demoras en el flujo de información. En este sentido, y dada las características del problema a abordar, se decide emprender un estudio de simulación sobre el proceso anteriormente descrito, con el objetivo de identificar posibles cuellos de botella y planificar los recursos disponibles en función de éstos. Las etapas que incluyó el estudio de simulación fueron las siguientes:

- i. Definición de la problemática en estudio.
- ii. Identificación de los Objetivos de Simulación.
- iii. Conceptualización del modelo.
- iv. Recolección y Análisis de Datos.
- v. Construcción del modelo computacional.
- vi. Verificación y Validación.
- vii. Ejecución de corridas de simulación y Análisis de Resultados.

Para la ejecución de las primeras 4 etapas se requirió de la realización de reuniones periódicas con los encargados de producción, con el objetivo de entender la estructura del proceso productivo y el flujo de materiales asociado. La complejidad radicaba principalmente en que un vibrocompactador se fabrica a partir del ensamble de diferentes subconjuntos, los cuales a su vez están integrados por muchos componentes que recorren diferentes caminos dentro de la línea de producción antes de llegar al sector de armado y soldado. Es en esta etapa donde se terminan cada uno de los subconjuntos, que luego

pasan por las etapas de lavado y pintura, hasta llegar al ensamble final. El principal insumo para la fabricación de los vibrocompactadores son chapas de acero SAE 1010 de distintos espesores que se colocan en un pantógrafo y de dónde se obtienen diferentes cortes, los cuales posteriormente son procesados en diferentes etapas según sus características. Estas etapas pueden incluir el plegado, el amolado y/o el fresado.

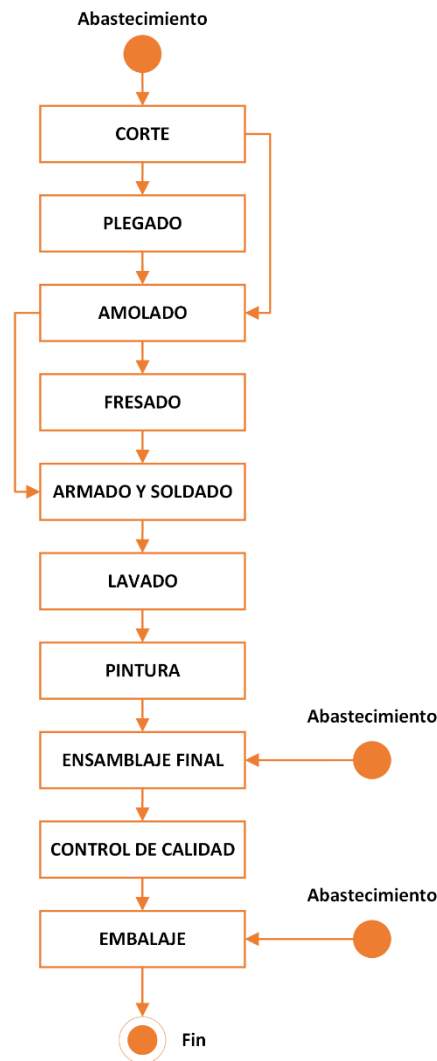


Figura 1 Etapas de Producción de un Vibrocompactador

La empresa no contaba con un estudio de tiempos de la línea de producción por lo que se tuvo que realizar un proceso de muestreo de los tiempos de procesamiento en cada una de las etapas de la línea. Toda la información generada durante el desarrollo del proyecto de simulación quedó a disposición de la empresa para su uso.

El modelo computacional se desarrolló en Software SIMIO, el cual permite a partir de una combinación de objetos y procedimientos, modelar, simular y animar en 3D el funcionamiento de diferentes sistemas mediante el paradigma de eventos discretos. En la próxima sección se brinda una descripción detallada del proceso de construcción del modelo computacional. Posteriormente, se realizó la verificación y validación del modelo para comprobar que no se hayan introducidos errores de programación y que la estructura del proceso representado y los valores de los parámetros ingresados sean válidos.

Finalmente, con el modelo verificado y validado, se realizaron diferentes corridas de simulación para obtener indicadores de performance sobre la configuración actual de la línea de producción, analizar resultados y evaluar los posibles cambios a realizar para alcanzar los objetivos de productividad pretendidos por la empresa. En la sección 5 se presenta una descripción detallada de la experimentación realizada haciendo uso del modelo de simulación.

4. DESARROLLO DEL MODELO COMPUTACIONAL

Como se mencionó anteriormente, el modelo computacional fue construido en el software SIMIO que permite desarrollar modelos de simulación con vistas 2D y 3D a través del uso de objetos (que proveen la funcionalidad básica) y procedimientos que hacen el proceso de construcción mucho más flexible y potente. Como característica principal, el software provee una Librería Estándar que contiene objetos predefinidos (Source, Server, Sink, Resource, Combiner, Separator, Worker, Vehicle, Path y algunos más), que se utilizan principalmente para representar componentes físicos de un sistema real, tales como máquinas, operarios, cintas transportadoras, etc.

Específicamente, para el modelo aquí presentado, se utilizaron objetos de tipo Server y Combiner para representar las máquinas que operan sobre la línea de producción de vibrocompactadores. Además, se generaron varias instancias del objeto Worker para representar a cada uno de los operarios que trabajan sobre la línea desarrollando tanto actividades de procesamiento como de traslado de los cortes y/o subconjuntos de una etapa a otra. Para aquellas operaciones de traslado realizadas por algún transporte de tipo automatizado se utilizó el objeto Vehicle. En la Tabla 1 se listan los componentes principales de la línea de producción y como fueron representados en el modelo computacional haciendo uso de los objetos predefinidos provistos por el simulador.

Tabla 1 Componentes del Modelo de Simulación

Objeto de SIMIO	Componente del Sistema Real
SERVER	Pantógrafo, Plegadora, Amoladora, Fresadora, Hidro lavadora, Pistolas para pintar/Cabina de pintura, Ensamble Final
COMBINER	Armado y Soldado
WORKER	Operarios
VEHICLE	Puente de Grúa

Además de los componentes físicos del sistema listados en la Tabla 1, en el modelo también se utilizan objetos de tipo Combiner para representar otras operaciones que suceden sobre la línea y que se realizan para que todas las piezas y/o subconjuntos de un mismo equipo se muevan juntas sobre un pallet a medida que avanzan en el proceso de producción.

Cada uno de los componentes del modelo computacional se parametriza con los datos de funcionamiento del sistema real. La Figura 2 muestra un ejemplo para la primera etapa de la línea de producción, donde 3 espesores de chapa ingresan al pantógrafo para la obtención de los diferentes cortes.

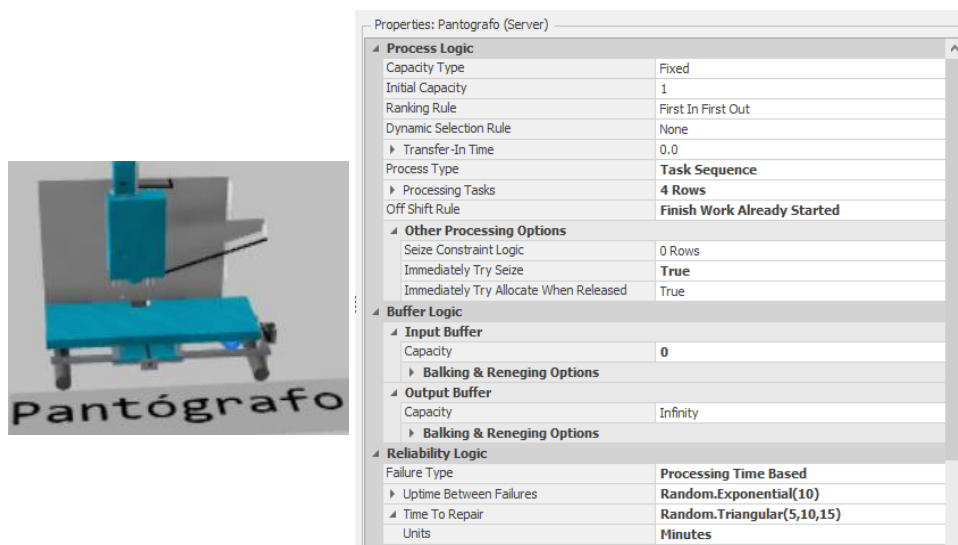


Figura 2 La operación del Pantógrafo y su representación en el modelo computacional

Como se muestra en la Figura 2, la operación del Pantógrafo se representa a través de un Objeto Server, cuyas propiedades se configuran con los tiempos recolectados del sistema real. El equipo puede cortar de 1 chapa a la vez y su operación consiste en 3 o 4 tareas consecutivas, de acuerdo con el espesor de chapa a cortar: (i) seteo de parámetros de corte, (ii) corte de la chapa, (iii) enfriamiento de piezas, (iv) descarga de las piezas resultantes. Las operaciones (i)-(iv) representan todo el tiempo que el Pantógrafo demora en cortar 1 chapa. La operación (iii) es específica para el espesor de chapa más grande. Las operaciones (i) y (iv) requieren de la asistencia de un operario. Además, como se muestra en la Figura 2, la operación del Pantógrafo está sujeta a fallos (desconfiguración del equipo) que requieren de un tiempo de reparación para su vuelta al funcionamiento normal de corte. La tarea de reconfiguración también requiere de la asistencia de un operario.

El resto de los componentes del modelo se parametriza de forma similar a lo explicado para la operación del Pantógrafo. Una vista general del modelo computacional en 3D se muestra en la Figura 3.



Figura 3 Vista 3D del modelo computacional en SIMIO

En el modelo que se muestra en la Figura 3, un objeto de tipo Source se utiliza para representar el arribo de las órdenes de producción a la línea de acuerdo con los datos contenidos en una Tabla que especifica: (i) el tiempo de arribo de la orden, (ii) el tipo de vibrocompactador a producir y (iii) la cantidad requerida. La información contenida en dicha Tabla fue obtenida a partir de información histórica registrada por la empresa.

Una vez que ingresa una orden de producción, se procede a verificar si existen cortes de chapa disponibles en depósito o si es necesario realizar operaciones de corte en el pantógrafo. Esto se debe a que la empresa ya tiene determinado un lote de óptimo de corte en Pantógrafo, que generalmente corresponde a 2 equipos. Es decir, en caso de requerir la producción de 1 implemento, se realizan cortes de chapas en el pantógrafo que cubre la orden de producción del equipo actual y las piezas restantes se almacenan en depósito para la producción de un futuro implemento. La cantidad de chapas que se cortan de cada espesor varía de acuerdo con la dimensión del vibrocompactador a producir. Cada chapa se traslada desde el almacén de insumos hasta el pantógrafo a través de un puente de grúa (objeto Vehicle), el cual requiere de la asistencia de un operario para la carga y descarga de las chapas.

Para representar lo que sucede en el sistema ante el arribo de una nueva orden de producción, se definen varios procedimientos dentro del modelo de simulación, uno de los cuáles muestra en la Figura 4.

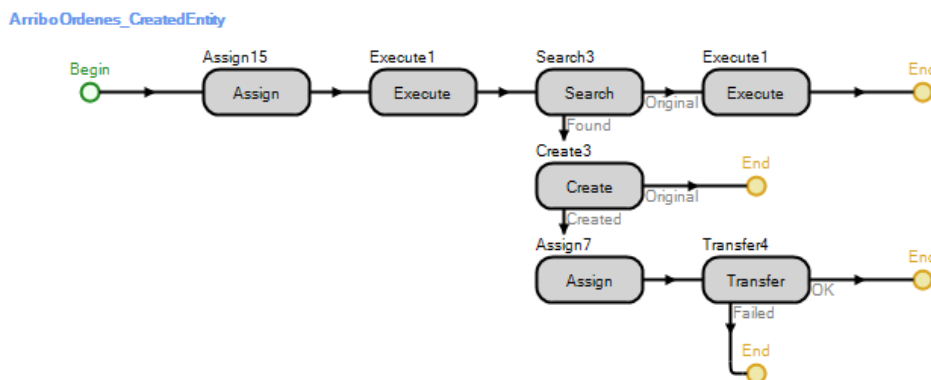


Figura 4 Definición de Procedimiento en el modelo computacional

Cuando arriba una orden de producción al sistema y hay cortes disponibles en depósito para el tipo de vibrocompactador solicitado, un operario busca las piezas de depósito y las traslada hasta el sector de Armado y Soldado para la consolidación de las piezas en los diferentes subconjuntos que conforman el implemento; sólo si es necesario, previo a dicha consolidación las piezas son amoladas para limpiarlas. En caso contrario, se procede a realizar las operaciones de corte necesarias en el pantógrafo. Cada vez que se termina de cortar una chapa, los operarios descargan los cortes resultantes y los consolidan en pallets para su posterior traslado a las etapas de plegado y/o amolado, y, si lo requieren, posteriormente fresado. Solo los cortes de chapas de menor espesor pasan por el sector de plegado y luego se dirigen a amolado y fresado con el resto de los cortes.

Para poder realizar las operaciones de plegado, amolado y fresado se requiere de la disponibilidad de un operario durante todo el tiempo de procesamiento. Una vez completadas estas etapas, las piezas se dirigen hacia el sector de armado y soldado para realizar el montaje de los diferentes subconjuntos, operación que también requiere de la asistencia de uno o dos operarios especializados, de acuerdo con el tamaño del subconjunto a soldar.

Una vez terminados los subconjuntos, estos se trasladan todos juntos en un pallet hacia la etapa de lavado y posteriormente hacia la etapa de pintado. Ambas incluyen un determinado tiempo de secado. Cada una de estas etapas se representa en el modelo con un Objeto de tipo *Server*, el cuál es parametrizado con el tiempo de operación, la capacidad de procesamiento y el tipo de operario que se requiere para ejecutar cada una de las operaciones. Posteriormente, todos los subconjuntos producidos sobre la línea, junto con los kits hidráulicos y mecánicos que se compran a proveedores, se unen en la etapa de Ensamble Final (objeto *Server*) para la terminación del implemento. El implemento terminado luego pasa por las etapas de Control de Calidad y Embalaje y finalmente se representa su salida la línea de producción e ingreso al depósito de producto terminado a través de un objeto de tipo *Sink*.

En SIMIO, el material que fluye a lo largo de la línea de producción se representa utilizando diferentes instancias del objeto dinámico *ModelEntity*. Dentro del flujo de material se consideran los insumos (chapas en sus distintos espesores y kit comprados a proveedores), los cortes de chapa, los subconjuntos y el producto final. Las órdenes de producción también son representadas a través de un objeto *ModelEntity* y el arribo de este tipo de entidad al sistema a través del objeto *Source* representa el evento disparador para dar inicio a la producción de un nuevo vibrocompactador.

Los operarios que realizan actividades a lo largo de todo el proceso de producción son representados utilizando objetos de tipo *Worker*. Este tipo de objeto tiene la capacidad de moverse y transportar entidades entre distintas ubicaciones dentro del modelo. Como se ha venido mencionando a lo largo del documento, los operarios realizan actividades tales como (i) seteo de parámetros en el pantógrafo, (ii) descarga de chapas desde la grúa hacia el pantógrafo y posterior descarga de los cortes resultantes, (iii) reparación de fallas en los equipos, (iv) traslados de componentes de un sector a otro y principalmente, (iv) ejecución de los procesamientos que suceden en cada una de las máquinas (excepto el pantógrafo). Se crean Listas en el modelo de simulación para determinar las operaciones que están capacitados a realizar cada uno de los operarios disponibles en el sistema.

Debido a la variedad de productos ofrecidos en la línea de vibrocompactador y la cantidad de componentes que integran cada uno de los subconjuntos del implemento, el modelo de simulación debe manejar mucha información. Todos los datos del proceso, incluido tiempos de arribo de órdenes de producción, tiempos de procesamiento y conformación de subconjuntos, se vuelcan en tablas de datos,

desde las cuales se alimenta el modelo computacional. Por ejemplo, la Figura 5 muestra la tabla de datos que se utiliza para definir los tipos de piezas que se obtienen del corte de cada espesor de chapa, la cantidad, a que subconjunto pertenece esa pieza, la categoría de producto a la que corresponde, y si necesita de la operación de plegado (valor 1) o no (valor 0).

Orden Corte	Tipo Pieza	Cantidad	Subconjunto	Categoría	Plegado
OrdenCorte_1_4_V120	ParantesEnganches_V120	6	1	V120	1
OrdenCorte_1_4_V120	LateralesEnganche_V120	4	1	V120	0
OrdenCorte_1_4_V120	EnvolvertesEnganche_V120	2	1	V120	1
OrdenCorte_1_4_V120	BaseResorte_V120	2	1	V120	1
OrdenCorte_1_4_V120	EnvolverteCuerpo_V120	2	2	V120	1
OrdenCorte_1_4_V120	SoporteOscilante_V120	2	2	V120	1
OrdenCorte_1_4_V120	SoporteValvula_V120	2	2	V120	1
OrdenCorte_1_4_V120	RefuerzosInterioresCuerpo_V120	4	2	V120	1
OrdenCorte_1_4_V120	PlacaRefuerzoCuerpo_V120	2	2	V120	0
OrdenCorte_1_4_V120	EnvolvertePostarascador_V120	2	4	V120	1
OrdenCorte_1_4_V120	ProteccionMotor_V120	2	10	V120	0
OrdenCorte_1_4_V120	TapaEjeRodamientos_V120	2	10	V120	0
OrdenCorte_1_4_V120	TapaRodamientos_V120	2	10	V120	0

Figura 5 Tabla de Datos usada en el modelo para representar los cortes que se obtienen de cada tipo de chapa

5. EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de verificar que el modelo computacional haya sido programado correctamente, se realizaron las primeras corridas de simulación y los resultados obtenidos fueron validados con personal de la empresa. Posteriormente, el modelo verificado y validado fue utilizado tanto para la evaluación del desempeño del sistema en su situación actual como también para la experimentación sobre posibles cambios a implementar para reducir los tiempos de producción.

En cada corrida de simulación, los arribos de las órdenes de producción se generan a partir de la información obtenida de 40 registros históricos de la empresa, que contienen información sobre los tiempos de arribo de las órdenes a la línea, el tipo de producto solicitado y su cantidad. Se considera una jornada laboral de 8.5 horas diarias de lunes a viernes.

Con la configuración actual del sistema, la simulación computacional determina los tiempos promedios de producción que se muestran en la Figura 6. El tiempo promedio de producción de un vibrocompactador es de 7.25 jornadas laborales y este valor puede ser mayor o menor de acuerdo si hay cortes disponibles en depósito o no para la producción del implemento. Como el lote óptimo de corte de chapas en el pantógrafo es de 2 equipos, habrá ordenes de producción que cuando arriben al sistema ya tengan cortes disponibles en depósito y otras que no. A esto se debe la diferencia entre los tiempos de producción, ya que, si hay cortes disponibles, no es necesario realizar las operaciones de traslado de chapas del depósito al pantógrafo y su posterior proceso de corte.

Tiempo Promedio de Producción de un Vibrocompactador: 7.25 jornadas
Cantidad de Ordenes de Producción sin cortes disponibles en depósito: 21 unidades
Tiempo Promedio de Producción de un Vibrocompactador sin cortes disponibles: 8.32 jornadas
Cantidad de Ordenes de Producción con cortes disponibles en depósito: 19 unidades
Tiempo Promedio de Producción de un Vibrocompactador con cortes disponibles: 6.06 jornadas

Figura 6 Tiempos promedios de producción en la configuración actual

Considerando el caso de una orden de producción para la que no haya cortes disponibles, la Figura 7 muestra los tiempos promedio de operación (traslado, espera y procesamiento) en cada una de las etapas de la línea de producción.

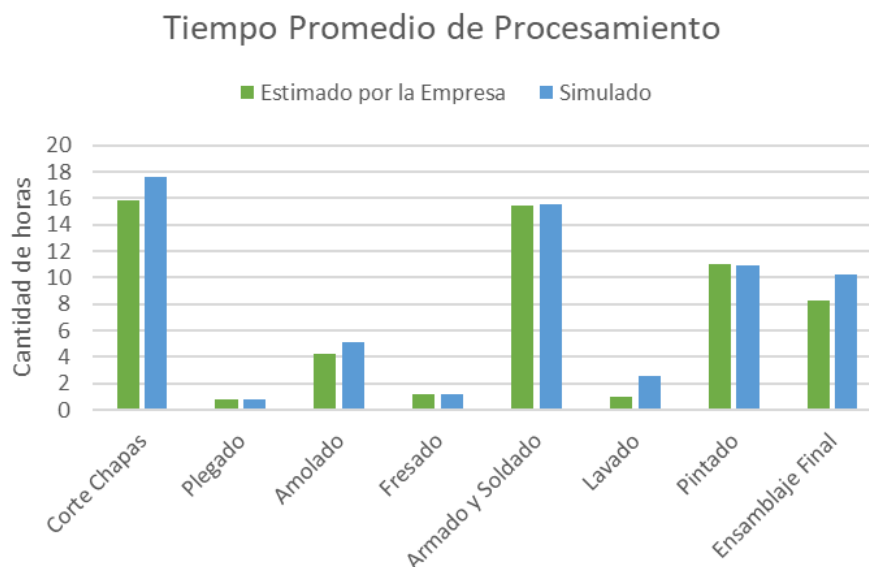


Figura 7 Tiempos promedios de procesamiento en cada etapa de la línea de producción

De acuerdo con lo que se observa en la Figura 7, que compara los tiempos de procesamiento estimados por la empresa y aquellos obtenidos de las corridas de simulación, los retrasos se producen en las operaciones de corte de chapas, amolado, lavado y ensamblaje final.

Después de un análisis de los resultados obtenidos con los encargados de producción, surge como hipótesis que, si bien los equipos están sujetos a fallos, las demoras en la línea pueden deberse principalmente a la disponibilidad de personal, quienes no solo deben ocuparse del procesamiento de las piezas y subconjuntos en cada uno de los equipos sino también del traslado del material entre las diferentes etapas de producción.

De esta manera, se decide experimentar sobre la configuración actual del sistema y determinar si es posible reducir los tiempos promedios de producción a través de la incorporación de nuevos operarios a la línea.

Como cada operario tiene asignado un conjunto específico de tareas y de acuerdo con los resultados de la Tabla 6, se decide experimentar sobre la posibilidad de incorporar un operario adicional en los siguientes sectores:

- Corte de chapas, donde los operarios se encargan de las operaciones de carga y descarga de chapas en el puente de grúa, el seteo de parámetros en el Pantógrafo, la descarga de los cortes resultantes, el traslado hacia el área de plegado y el manejo de la máquina plegadora.
- Armado y Soldado, donde los operarios se encargan de los traslados del material hacia las áreas de amolado, fresado, armado y soldado y lavado, además de ejecutar la operación propia de armar y soldar cada subconjunto, que de acuerdo con el tamaño puede requerir de la asistencia de 1 o 2 operarios.
- Ensamblaje Final, donde los operarios se encargan del traslado de los subconjuntos desde el sector de pintura hacia el área de ensamblaje y también realizan la operación de ensamble total del implemento.

En la experimentación y para cada factor se consideran los siguientes niveles:

- **N1:** configuración original de operarios.
- **N2:** incorporar un trabajador (operario extra) que brinde apoyo al sector de Armado y Soldado pero que también pueda colaborar con alguna de las otras dos áreas.
- **N3:** incorporar un operario específico en los sectores de corte de chapas y/o ensamblaje final.

Los resultados obtenidos de la experimentación se muestran en las Figuras 8 y 9.

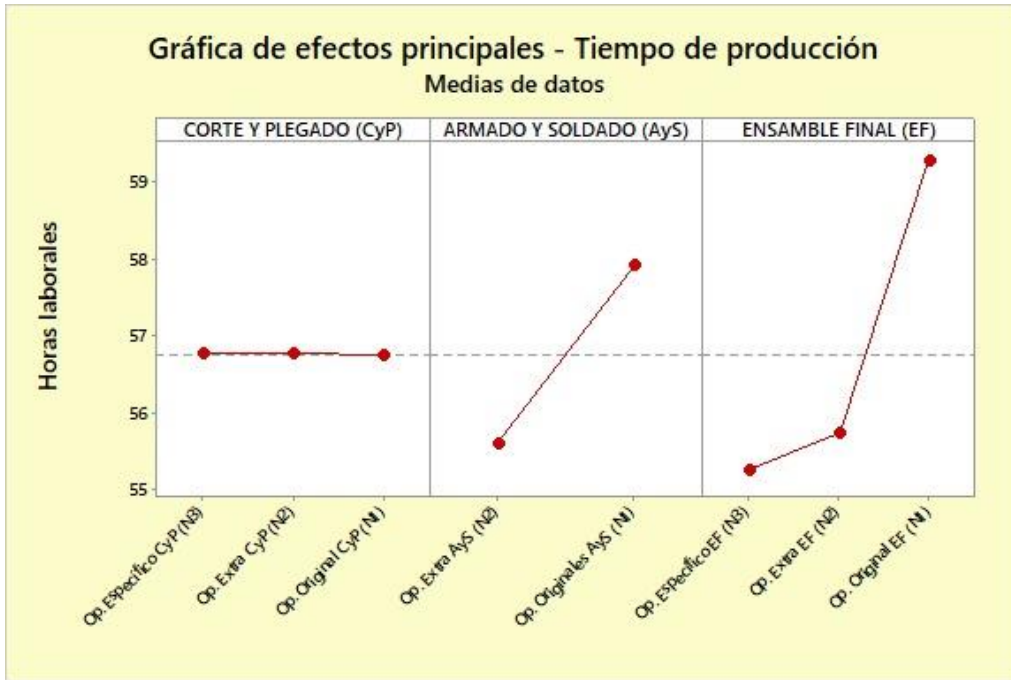


Figura 8 Medias de nivel para cada uno de los 3 factores considerados en la experimentación

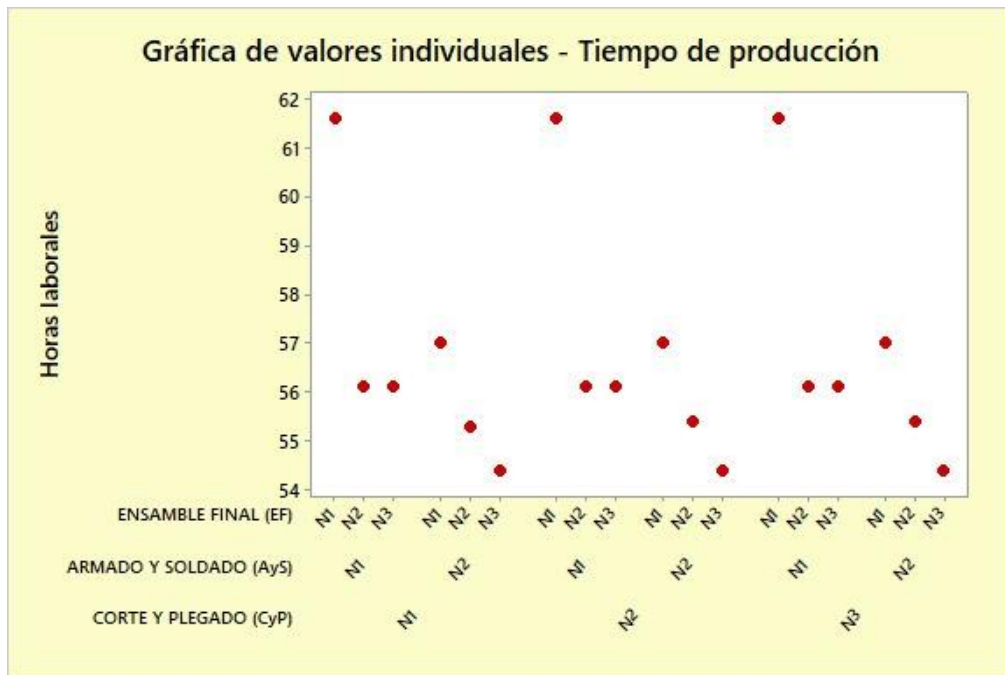


Figura 9 Tiempo promedio de producción de un vibrocompactador para cada uno de los escenarios analizados

De acuerdo con la Figura 8, la incorporación de un operario en los sectores de Armado Soldado y Ensamble Final parece disminuir considerablemente el tiempo de producción de un vibrocompactador. Para el área de Corte y Plegado, la línea de medias de los niveles del factor es casi similar a la línea de referencia que representa la media general, por lo tanto, se deduce que incorporar un operario en este sector no modificaría los tiempos actuales de producción.

Por otra parte, la Figura 9 muestra, de manera individual, los tiempos promedios de producción para cada uno de los 18 escenarios considerados en la experimentación. De esta se observa que el mínimo valor de tiempo de producción (54.4 horas equivalente a 6.4 días laborales) se logra al mantener los operarios originales en la etapa de corte, añadir un operario extra exclusivo para la etapa de armado y soldado, y asignar un operario específico para la etapa de ensamble final, lo que implica incorporar un

total de dos operarios a la línea de producción. Sin embargo, hay otro escenario, donde el tiempo de producción es ligeramente mayor (55.6 horas equivalente a 6.5 días laborales, pero se prescinde de un operario dedicado exclusivamente al ensamblaje final. En su lugar, se propone la incorporación de un operario extra (compartido) para las etapas de armado y soldado, y ensamblaje final. A pesar de esta leve variación en el tiempo de producción, este escenario podría considerarse altamente rentable para la empresa, ya que la diferencia en el tiempo es mínima y sólo se requiere la incorporación de un solo operario a la línea de producción.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el desarrollo de un modelo de simulación de eventos discretos para representar computacionalmente y evaluar el desempeño de la línea de producción de vibrocompactadores en una PyME metalúrgica. El objetivo era determinar los factores que afectaban el no cumplimiento de las tasas de entrega pactadas con los clientes.

De acuerdo con los resultados de la simulación, se determinó que la cantidad de operarios disponibles provocan los retrasos en el flujo de material. A través de la experimentación, se pudo establecer que a través de la incorporación de un operario que sea compartido en múltiples etapas del proceso de producción se puede lograr una reducción significativa de los tiempos de producción, con una disminución de 6 horas laborales por cada vibrocompactador producido. De esta manera, la capacidad de redistribuir al personal según sea necesario puede ayudar a evitar cuellos de botella en la línea, manteniendo un flujo constante de producción.

Como perspectiva para investigaciones futuras, se plantea la extensión de este modelo de simulación a las otras tres líneas de producción de la empresa. Este enfoque podría proporcionar una visión más integral de la operación de la empresa y ayudar a identificar oportunidades adicionales para mejorar la eficiencia y el rendimiento en todas sus áreas de producción.

7. REFERENCIAS

- Fundación Observatorio PYME. (2017). *Informe especial: Innovación y Diseño entre las PyME industriales*.
- Huynh, B. H., Akhtar, H., & Li, W. (2020). Discrete Event Simulation for Manufacturing Performance Management and Optimization: A Case Study for Model Factory. *9th International Conference on Industrial Technology and Management*.
- Negahban, A., & Smith, J. S. (2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*.