

Oportunidades de mejora para los procesos de recepción, fabricación y despacho de máquinas despulpadoras de café

Improvement Opportunities for the Reception, Manufacturing, and Dispatch Processes of Coffee Pulping Machines

Jairo Roberto Pérez-González¹, Xiomy Carolina Cárdenas-Cortés¹, Daniela Ocampo-Arias¹, Yony Fernando Ceballos¹

¹Grupo de investigación Ingeniería y sociedad, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Correspondence E-mail: yony.ceballos@udea.edu.co

Received: 26th/July/2021. Modified: 21st/April/2022. Accepted: 11th/May/2022

Abstract

Context: Coffee is a popular drink obtained from the seed of a shrub called cafeto, which is ground and toasted in order to obtain the powder used for the elaboration of the drink. For its transformation, it is necessary to use different types of machines, which is an important market niche in the country's economy. Therefore, it is necessary to identify opportunities for improvement in the activities of the process involving ordering, production, and dispatch of coffee pulping machines in a Colombian company.

Method: By using simulation as a tool, a model is built which appropriately represents the reality of the company, starting with the delimitation of the problem, continuing the identification of key variables, the taking of samples and their statistical analysis, the construction of the simulation with its respective validation and verification processes, and ending with the analysis of results and possibilities of application in the company, together with the conclusions of the process.

Results: Based on the scenarios elaborated, it is recommended to design a dispatch area to access information quickly and in a timely manner, together with the development of specialized software that allows digitizing orders and referrals, as well as with the planning of delivery routes for prioritized orders according to the key variables of the process. With the implementation of the suggestions above, the queue of assembled and non-dispatched machines was reduced by 51%, and the dispatches of coffee pulping machines increased by 49%, thus improving customer satisfaction.

Conclusions: The investment required to implement the solution scenario represents medium-term returns, which, together with customer satisfaction, allows the company to be made competitive. A study of the logistics of dispatching orders is proposed, since this part of the problem is evident, but cannot be solved by simulation.

Keywords: coffee pulping machines, discrete event simulation, assembly, production line, coffee

Language: Spanish

Open access



Cite as: Pérez-Gonzalez, J., Cárdenas-Cortés, X., Ocampo-Arias, D., Ceballos, Y. "Oportunidades de mejora para los procesos de recepción, fabricación y despacho de máquinas despulpadoras de café". *Ing*, vol. 27, no. 3, 2022. e18314. <https://doi.org/10.14483/23448393.18314>

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Resumen

Contexto: El café es una bebida popular que se obtiene de la semilla de un arbusto denominado cafeto, esta es molida y tostada para obtener el polvo que se utiliza para la elaboración de la bebida. Para su transformación es necesario emplear diferentes tipos de máquinas, lo cual es un nicho de mercado importante para la economía del país. Por lo tanto, se hace necesario identificar oportunidades de mejora en las actividades del proceso que comprende pedido, producción y despacho de las máquinas despulpadoras de café en una empresa colombiana.

Metodo: A partir del uso de simulación como herramienta, se procede a construir un modelo que represente apropiadamente la realidad de la empresa, iniciando por la delimitación del problema, siguiendo con la identificación de variables clave, la toma de muestras y su análisis estadístico, la construcción de la simulación con sus respectivos procesos de validación y verificación, y finalmente el análisis de resultados, y las posibilidades de aplicación en la empresa en conjunto con conclusiones del proceso.

Resultados: A partir de los escenarios construidos, se recomienda diseñar un área de despacho para acceder a la información de forma rápida y oportuna junto con el desarrollo de un software especializado que permita digitalizar órdenes y remisiones, adicionalmente la planeación de rutas de entrega de pedidos priorizados según las variables clave en el proceso. Con la implantación de las anteriores sugerencias, la cola de máquinas ensambladas y sin ser despachadas se redujo en un 51 % y los despachos de las máquinas despulpadoras de café incrementaron en un 49 % mejorando la satisfacción del cliente.

Conclusiones: La inversión necesaria para implementar el escenario de solución representa retornos a mediano plazo, lo cual, junto con la satisfacción del cliente, permite hacer competitiva a la empresa. Se propone hacer un estudio de la logística de despacho de los pedidos, dado que esta parte del problema se evidencia, pero no se puede resolver mediante simulación.

Palabras clave: despulpadoras de café, simulación discreta, ensamble, línea de producto, café.

Idioma: español

1. Introducción

En Colombia el café es uno de los principales productos de exportación dado que tiene alta calidad y gran variedad, además cerca de 2,7 millones de personas dependen directamente del cultivo de este en el país [1]–[4]. Para su transformación o beneficio es necesario realizar la recolección de la cereza en el cafeto, posteriormente el descerezado o despulpado para eliminar la cáscara externa y parte de la pulpa adherida a los granos (tradicionalmente en una máquina despulpadora), luego la fermentación para descomponer los restos de pulpa, pasar a un proceso de lavado con abundante agua para eliminar restos de pulpa fermentada, posteriormente a un proceso de secado el cual puede ser al sol o en máquinas secadoras (máquina tipo guardiola) y finalmente el trillado mediante una máquina descascarilladora para eliminar el pergamino (cáscara interna de la cereza) y obtener el café verde [4]–[6]. La fabricación y distribución de máquinas para la línea agrícola, en específico en la transformación de caña de azúcar y de café, es una necesidad en Colombia, dada la importancia de esta industria para el país [2], [7], [8].

En una empresa de este sector en Antioquia se observa la necesidad de optimizar el proceso de ensamble y distribución de estas máquinas para asegurar sostenibilidad en el mercado y contribuir de una manera ágil al desarrollo del sector agrícola del país [9], [10]. La empresa actualmente tiene una demora en la entrega de las máquinas despulpadoras, no tiene una política de recepción

de pedidos, de fabricación ni de entrega, es decir, cuando llega una solicitud de venta se envía a producción la cantidad de máquinas requeridas, luego estas van a un lugar de almacenamiento hasta que sean despachadas. Incluso el despacho no tiene un orden establecido, no se manejan prioridades y al indagar los motivos de esas entregas no ordenadas se identifica que es debido a que los transportadores son los que deciden qué pedidos llevar con base en su ruta y no tienen en cuenta las fechas en las cuales se pidieron las máquinas.

Este trabajo está enfocado en conocer todo el proceso que implica despachar las despulpadoras de café cuando son pedidas por los clientes, es decir, se estudiará el proceso desde que llega el pedido de la máquina, así como la fabricación y el despacho de estas con el fin de identificar las posibles actividades que causan demoras en la entrega, y mejorarlas, prestando un mejor servicio y cumpliendo las políticas de calidad establecidas, las cuales se basan en satisfacción de los clientes. En la sección siguiente se procede a la descripción de un modelo que representa la situación problemática y que permite evaluar diferentes escenarios de solución del problema descrito.

2. Metodología

Un modelo es la representación de un sistema real y es útil en la medida en que represente la esencia de la situación real del objeto de estudio, facilite el desarrollo de procesos de inferencia que no se podrían llevar a cabo sin él y proporcione conocimientos que puedan ser transferidos a diversas situaciones [11]–[13]. Por lo tanto, para observar el comportamiento de la operación de estos sistemas a través del tiempo se utilizan las herramientas de simulación. “La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo” [14], [15].

La simulación por eventos discretos se emplea cuando se quiere observar de manera detallada el comportamiento de un sistema en un momento específico. Por lo tanto, cuando las variables solo cambian en determinados puntos discretos del tiempo en los que ocurren los eventos, por lo que no se incluyen sistemas que estén cambiando continuamente, se habla de simulación de eventos discretos. El presente trabajo estará enfocado en establecer las actividades que tienen oportunidad de mejora por medio de la simulación de eventos discretos desde el momento que los clientes hacen el pedido de las máquinas despulpadoras de café hasta que la reciben. El proceso inicia con la solicitud de la venta, seguida de la fabricación y el despacho y en este sentido, es preciso aclarar algunos conceptos [16]. Se le conoce como recepción del pedido a la solicitud de la venta de la máquina realizada por los clientes de la empresa, quienes son personas que trabajan de manera independiente el cultivo del café en sus fincas ubicadas en las zonas rurales del país, cooperativas de caficultores o personas y empresas del exterior [17], [18].

La clasificación de las despulpadoras es un proceso donde se establece qué modelo de máquina se solicitó, dado que en la empresa se fabrican once tipos que se diferencian por la capacidad. Además, estas son fabricadas en hierro colado con pechero torneado que logra un ajuste apropiado con el cilindro, tienen sistema de graduación que permite verificar visualmente el ajuste de todo el

pechero, la transmisión es con cadena y piñones fresados, lo cual las hace silenciosas y precisas. Estas máquinas se encargan de quitarle la cáscara al grano una vez esté seco y sin averiarlo en su interior para luego continuar con el proceso del beneficio, el cual transforma los frutos en café pergamino.

El sistema objeto de estudio es el proceso que implica comercializar las máquinas despulpadoras de café. Este inicia con la recepción del pedido, posteriormente se realiza una clasificación del tipo de piezas requeridas para la fabricación y se hace una requisición de producción, luego de la clasificación se inicia el proceso de la fabricación de piezas en hierro fundido en la fábrica. Las piezas que serán caso de estudio para la fabricación de una máquina despulpadora de café son: el cilindro, la cureña, el volante y el pechero.

Una despulpadora necesita dos piezas tipo cureñas para ser ensamblada, la cureña compone el chasis de la máquina y su producción inicia con el pulido de la pieza de hierro para darle un acabado más fino, posteriormente se perfora, se ensambla y se pinta el chasis. El volante es el componente que hace girar el cilindro, su producción inicia con la actividad de torneado a la pieza, luego la perforación y se finaliza con la pintura. El pechero inicia con el torneado, posteriormente se pule y se finaliza igualmente pintando la pieza. Los recursos humanos necesarios se presentan en la tabla I.

Una vez fabricadas las piezas anteriores se unen, en este punto se recolectan un cilindro, dos cureñas, un volante y un pechero para realizar el ensamble de la máquina. Posteriormente se

Tabla I. Recursos para la elaboración de despulpadoras

Tipo de pieza	Actividades Involucradas	Recursos
Cilindro	Refrentado	1 persona
	Perforación	1 persona
	Entarugado	1 persona
	Rectificado	1 persona
	Torneado	2 persona
	Pintura	Departamento
Cureña	Pulido	1 persona
	Perforación	1 persona
	Ensamble Chasis	1 persona
	Pintura	Departamento
Volante	Torneado	1 persona
	Perforación	1 persona
	Pintura	Departamento
Pechero	Torneado	1 persona
	Pulido	1 persona
	Pintura	Departamento
Cilindro	Refrentado	1 persona
	Perforación	1 persona
	Entarugado	1 persona
	Rectificado	1 persona
	Torneado	2 persona

despacha, se da la salida del sistema con el fin de hacer la entrega a los clientes, de acuerdo con la disponibilidad que tenga el conductor y la ruta que haga o según la presión que el cliente ejerza. La actividad de pintura se ve presente en cada uno de los procesos para la fabricación de los cuatro tipos de piezas, dicha actividad es llevada a cabo por un departamento de tres personas.

3. Construcción del modelo

Partiendo de que un modelo está constituido por variables, y que estas son elementos que cambian constantemente ya que están sujetos a variaciones en el tiempo, es fundamental describirlas para comprender y tener claridad de la simulación del proceso. Existen tres tipos de variables, las exógenas: que son variables influenciadas por agentes externos al proceso, generalmente no son controlables, pero cuando lo son se denominan parámetros que asumen valores fijos, las endógenas: son variables que representan actividades que se dan internamente en el sistema y son modificadas por este, y las variables de estado que reflejan características relevantes del sistema y elementos que lo componen en un instante de tiempo específico [1], [2]. Las variables empleadas pueden verse en la tabla II.

Tabla II. Variables del modelo

Nombre	Descripción	Tipo
Tiempo entre llegadas de pedidos	Es el tiempo que transcurre entre la llegada de un pedido y otro	Exógena
Tiempo de despacho de pedidos	Es el tiempo que transcurre entre la salida de una máquina despulpadora y otra	Endógena
Tiempo de ensamble de las piezas	Es el tiempo que tarda un operario en ensamblar un cilindro, dos cureñas, un volante y un pechero	Endógena
Tiempo de refrentado del cilindro	Es el tiempo que tarda en realizarse la actividad de refrentado por un operario	Endógena
Tiempo de encamisado del cilindro	Es el tiempo que tarda en realizarse la actividad de encamisado por un operario	Endógena
Cantidad de piezas ensambladas	Es el número de piezas que son ensambladas por un operario	Estado y desempeño
Cantidad de máquinas despulpadoras despachadas	Es el número de piezas que son despachadas por dos conductores	Estado y desempeño
Tiempo de las máquinas despulpadoras en el sistema	Es el tiempo promedio que transcurre entre la realización del pedido y la salida de las máquinas despulpadoras del sistema	Estado y desempeño
Tiempo de cola para ensamblar cilindro	Es el tiempo promedio que pasa la pieza cilindro en cola antes de ser ensamblada	Estado y desempeño
Tiempo de cola para ensamblar cureña	Es el tiempo promedio que pasa la pieza cureña en cola antes de ser ensamblada	Estado y desempeño
Tiempo de cola para ensamblar volante	Es el tiempo promedio que pasa la pieza volante en cola antes de ser ensamblada	Estado y desempeño
Tiempo de cola para ensamblar pechero	Es el tiempo promedio que pasa la pieza pechero en cola antes de ser ensamblada	Estado y desempeño
Tiempo de cola para despachar máquina despulpadora	Es el tiempo promedio que pasa la máquina despulpadora en cola antes de ser despachada	Estado y desempeño

Para conceptualizar el modelo a simular y relacionar las variables correspondientes a los tiempos que pasan las piezas cilindro, volante, cureña y pechero en cola antes de ser ensambladas, se establece que estas variables permiten identificar los cuellos de botella, dado que si falta alguna de esas partes no se lograría fabricar la máquina e incrementaría los tiempos en fases posteriores de ensamblado.

La relación de las variables cantidad de piezas ensambladas y cantidad de piezas despachadas permite conocer el número de máquinas que a pesar de estar terminadas se quedan en el sistema, esto a su vez se relaciona con el tiempo de la cola para despachar la máquina despulpadora, es decir, permite conocer esos tiempos de espera del producto terminado que no es despachado, así mismo la variable tiempo de las máquinas despulpadoras en el sistema se relaciona con todas las variables que involucran los tiempos de las actividades y las colas en el modelo simulado. Con el fin de conceptualizar el modelo a simular se realiza la tabla II que especifica la información a tratar y permite ver en detalle los elementos que se tendrán en cuenta al momento de realizar la simulación [19].

Para realizar el modelo de simulación del proceso de recepción del pedido hasta que se entregan a los clientes las máquinas despulpadoras de café es necesario tener en cuenta los tiempos de llegada de los pedidos, los de fabricación y ensamble de las piezas y los de despacho.

Los tiempos de llegada de los pedidos tienen asignada una distribución aleatoria dado que la empresa no tiene compactada y controlada esta información, los pedidos se reciben mediante correo electrónico, pero no se hace registro en una base de datos y adicionalmente no se sabe qué cantidad de máquinas se van a solicitar en un día. Los tiempos asociados a las actividades de fabricación de las piezas de la máquina y de ensamble fueron proporcionados por el personal de la empresa. Estas actividades tienen asignadas distribuciones average con tiempos promedios consignados en la tabla IV. Finalmente, los tiempos asociados al despacho de las máquinas a los clientes se tomaron con base a las remisiones que se tienen en la empresa, para encontrar una distribución que se ajuste a los tiempos encontrados de entrega en primera instancia se procede a calcular el tamaño de la muestra, es decir, el número de datos necesarios para hacer una correcta estimación.

El tamaño de muestra se establece con un nivel de significancia del 5 %. En total se encontraron 32 tiempos de despachos y se encontró una varianza de 103,30 en estos datos, el error máximo permitido se encontró usando la ecuación de cálculo del error y con toda la información ya determinada se calculó el número de datos que deben ser tomados. Los datos ajustados y construidos con ayuda de los expertos se presentan en la tabla IV.

Luego de conceptualizar el modelo, hallar los tamaños de muestra ideales, tomar los datos y ajustarles las distribuciones correspondientes, se procede a construir el modelo en el software simul8, que permitirá simular el sistema para después analizarlo, sacar conclusiones y evaluar posibles escenarios que ayuden a solucionar la problemática planteada. El modelo inicia con una entrada correspondiente a los pedidos de los clientes con distribución aleatoria porque la empresa no cuenta con esta información y porque no se sabe qué cantidad ni cada cuánto se van a solicitar las máquinas, es decir, no se sabe en qué momento va a llegar un pedido de venta.

Tabla III. Relaciones empleadas en el modelo

Componente	Incluido/ No incluido	Justificación
Entrada: Pedidos	Incluido	Corresponde a la llegada de los pedidos realizados por los clientes
Actividades		
1. Cotización de pedido	No incluido	La actividad no genera tiempo significativo en el sistema
2. Recepción de pedido	Incluido	Se incluye la actividad en el modelo siguiendo una distribución empírica definida por expertos
3. Generación de factura	No incluido	La actividad no genera tiempo significativo en el sistema
4. Clasificación de tipo de pieza pedido	Incluido	Clasificación de las piezas a fabricar según el tipo de máquina pedida
5. Fabricación de piezas: cilindro, cureña, volante y pechero	Incluido	Son de vital importancia para la simulación del proceso ya que su producción permite el ensamble y las ventas de las máquinas despulpadoras de café
6. Ensamble de máquina	Incluido	Permite calcular la cantidad de máquinas que son ensambladas
7. Almacenamiento	No incluido	La empresa no tiene ningún registro de la actividad
8. Despacho de pedido	Incluido	Es importante pues determina la cantidad de máquinas que son despachadas a los clientes
Colas		
1. Colas correspondientes a las actividades de fabricación de piezas	Incluido	
2. Cola de las piezas fabricadas para ensamblar	Incluido	Las colas no tienen tiempo de vida media y poseen capacidades ilimitadas
3. cola de las piezas ensambladas para despachar	Incluido	
Recursos		
15 operarios	2 conductores	

Posteriormente, los pedidos que ingresan pasan a una actividad que no genera tiempo dentro del sistema (distribución fija en cero) para ser clasificados según el tipo de pieza, por medio de una probabilidad, siendo esta: pieza cilindro 20 %, pieza volante 20 %, pieza pechero 20 % y pieza cureña 40 %, esta última teniendo una probabilidad más alta debido a que se requieren dos piezas de este tipo para llevar a cabo el ensamble de la máquina despulpadora. Las actividades correspondientes a cada pieza (cilindro, cureña, volante y pechero) también son fijas y no toman tiempo en el sistema, esto con el único fin de separar los tipos de piezas.

El cilindro tiene asociadas las actividades de refrentado, perforación, entarugado, rectificado, torno, encamisado y pintura en ese orden consecutivo; la cureña tiene relacionada las actividades de pulido, perforación, ensamble del chasis y pintura en ese orden consecutivo; la pieza volante tiene asociadas las actividades de torneado, perforación y pintura en ese orden consecutivo; y la pieza pechero tiene involucradas las actividades de torneado, pulido y pintura en ese orden consecutivo con distribución average con tiempos promedios informados por la empresa, dado que anteriormente habían realizado un estudio de métodos y tiempos. La asignación de las distribu-

Tabla IV. Distribuciones ajustadas

Pieza	Actividad	Distribución de la actividad	Tiempo promedio (Horas)
Cilindro	Refrentado	<i>Average</i>	0,25
	Perforación	<i>Average</i>	0,15
	Entarugado	<i>Average</i>	0,11666
	Rectificado	<i>Average</i>	0,183333
	Torno	<i>Average</i>	0,283333
	Encamisado	<i>Average</i>	0,283333
	Pintura	<i>Average</i>	0,16667
Cureña	Pulido	<i>Average</i>	0,0333
	Perforación	<i>Average</i>	0,25
	Chasis	<i>Average</i>	0,11667
	Pintura	<i>Average</i>	0,0666
Volante	Torno	<i>Average</i>	0,25
	Perforación	<i>Average</i>	0,1
	Pintura	<i>Average</i>	0,0666
Pechero	Torno	<i>Average</i>	0,15
	Pulido	<i>Average</i>	0,1166
	Pintura	<i>Average</i>	0,0666
Ensamble		<i>Average</i>	0,3333
Despacho		Exponencial	10,05
Tipo de pieza		Fija	0

ciones correspondientes a las actividades mencionadas anteriormente se realiza de la manera que lo indica la figura 1. Una vez asignadas las respectivas distribuciones a las actividades y terminada la última actividad de la fabricación de cada pieza que es pintura, las piezas pasan a unas colas que esperan por la actividad de ensamble de las máquinas despulpadoras, dicha actividad sigue una distribución average.

Posteriormente, en la actividad de ensamble se especifica el número de piezas que se debe recolectar de cada cola para ensamblar la máquina de esta manera: una pieza proveniente del proceso de cilindro, una proveniente del proceso de volante, una proveniente del proceso de pechero y dos que provengan del proceso de cureña. Luego se marca la casilla de “Assemble” para indicar que en esa actividad de ensamble deben entrar cinco piezas y debe salir solo una. Las piezas ensambladas pasan a una cola de despacho y luego a la actividad de despacho que sigue una distribución exponencial con media 10,05, dicha distribución fue asignada con base en los registros de facturas facilitados por la empresa. Finalmente, se da la salida de las máquinas despulpadoras del sistema.

Después de elaborar el modelo se procede con la validación con el fin de asegurar que los supuestos usados fueron apropiados. Mediante la técnica de intuición de expertos se realizó una reunión con un experto de la empresa, encargado de la recepción de pedidos de las máquinas despulpadoras de café y de todo el proceso en general. El experto llega a la conclusión que el modelo es correcto, que arroja resultados aproximados a la realidad en los tiempos adecuados y, teniendo

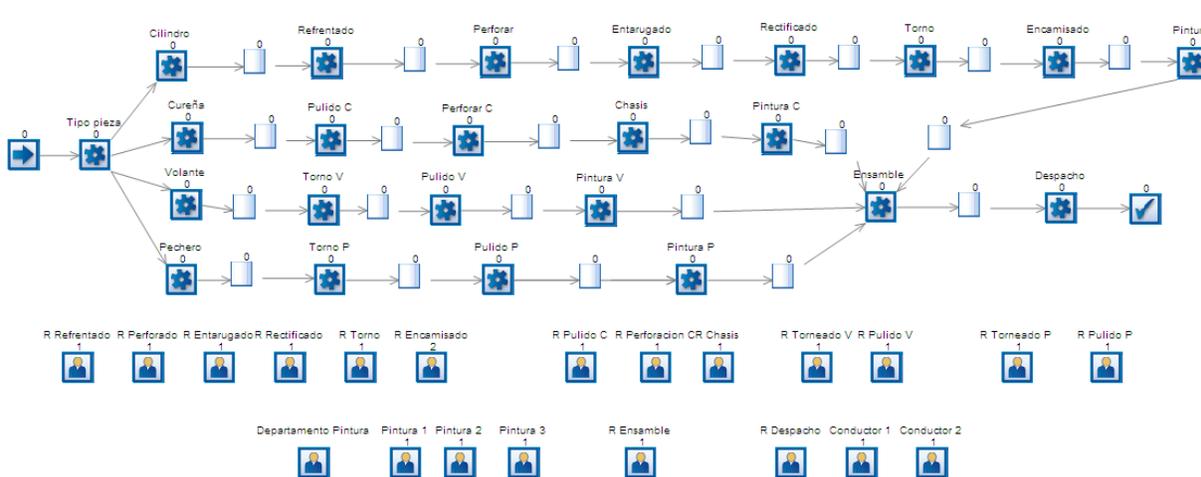


Figura 1. Implementación del modelo de simulación

en cuenta parámetros claves que son determinantes para el proceso, que el modelo replica apropiadamente la actualidad de la empresa.

También se realiza la comparación con los resultados de la realidad y se encuentra que en la empresa durante 200 horas se ensamblan entre 65 y 75 máquinas desulpadoras y el modelo arrojó que en promedio se ensamblan 69 máquinas, lo cual indica que se comporta conforme a la realidad.

4. Resultados

Para dar solución a los largos tiempos de despacho de las máquinas desulpadoras se plantearon tres escenarios que permiten ver los cambios de esta variable y de la de tiempo de entrega.

4.1. Escenario 1

Se hace la sugerencia de aumentar a 250 las horas laboradas en el mes dentro de la empresa, así se lograría ensamblar más máquinas porque se producen más piezas, además los despachos de las máquinas desulpadoras también aumentarían y por ende el tiempo de espera que se tiene de productos terminados sin ser despachados reduciría, finalmente los clientes y la compañía se verían beneficiados porque se cumplirían los acuerdos establecidos y la satisfacción de los compradores. Los detalles del escenario se presentan en la tabla V.

Luego de incrementar a 250 las horas laboradas en un mes, se observa que aumenta de 18 a 27 la cantidad de pedidos despachados de máquinas desulpadoras a los clientes; sin embargo, la cola de máquinas ensambladas al igual que la cola de máquinas sin despachar ocasiona un incremento de 46 a 61 en la cantidad de pedidos (Tabla VI).

Finalmente, se concluye que este escenario no mejora en gran medida los problemas planteados inicialmente, dado que el tiempo de espera del producto terminado sin ser despachado incrementa mucho comparado con el aumento de despachos, por lo que posiblemente el cliente también se vería afectado.

Tabla V. Información empleada en el escenario 1

Objetivo	Disminuir la cantidad de máquinas en la cola después del ensamble
Factor de cambio	Horas laboradas al mes
Nivel 1	Aumentar a 250 las horas laborales
Supuesto	Al aumentar las horas laborales en el proceso, la cola que existe luego del ensamble reduciría y el despacho de las máquinas aumentaría
Hipótesis	Hipótesis nula: el tiempo de espera antes del despacho disminuye Hipótesis alternativa: el tiempo de espera antes del despacho no disminuye
Longitud de la corrida	1 mes equivale a 200 horas, 10 horas laborales al día, 20 días laborales al mes
Número de réplicas	500
VARIABLES de estado	Cantidad de máquinas en la cola de despacho

Tabla VI. Resultados escenario 1

Factor para analizar	Implementación nivel 1: aumentar a 250 h
Cantidad de piezas tipo cilindro que quedan en la cola antes de ensamblar	0
Cantidad de piezas tipo cureña que quedan en la cola antes de ensamblar	8
Cantidad de piezas tipo volante que quedan en la cola antes de ensamblar	5
Cantidad de piezas tipo pechero que quedan en la cola antes de ensamblar	15
Cantidad de máquinas ensambladas que quedan en la cola antes de despachar	61
Cantidad de pedidos despachados	27

4.2. Escenario 2

Se propone aumentar un conductor en la actividad de despacho de las máquinas despulpadoras de café, es decir que en total se cuente con tres personas que distribuyan y entreguen los productos logrando aumentar los despachos y disminuir la cola de espera de máquinas ensambladas, adicionalmente sería ideal realizar una adecuada planeación de las rutas que cada uno cubriría con el fin de que los despachos se hagan con mayor control (Ver tabla VII).

Como se planteó, se procede a aumentar la cantidad de conductores en la actividad de despacho de las máquinas despulpadoras de café, se pasó de tener dos empleados a tres desarrollando esta actividad, los resultados de las corridas se observan en la tabla VIII donde el incremento de colaboradores en la actividad no genera ningún cambio en la cantidad de pedidos despachados a los clientes.

Finalmente, se concluye que el escenario no genera cambios positivos en las salidas del sistema por lo que no se recomienda implementarlo.

Tabla VII. Información empleada en el escenario 2

Objetivo	Disminuir la cantidad de máquinas en la cola después del ensamble
Factor de cambio	Número de conductores
Nivel 1	Aumentar un conductor en la actividad de despacho
Supuesto	Al aumentar la cantidad de conductores asignados a la actividad de despacho se puede descongestionar la cola que se tiene luego del ensamble
Hipótesis	Hipótesis nula: el tiempo de espera antes del despacho disminuye Hipótesis alternativa: el tiempo de espera antes del despacho no disminuye
Longitud de la corrida	1 mes equivale a 200 horas, 10 horas laborales al día, 20 días laborales al mes
Número de réplicas	500
Variables de estado	Cantidad de máquinas en la cola de despacho

Tabla VIII. Resultados escenario 2

Factor para analizar	Implementación nivel 1: dos conductores en despacho	Implementación nivel 2: tres conductores en despacho
Cantidad de piezas tipo cilindro que quedan en la cola antes de ensamblar	0	0
Cantidad de piezas tipo cureña que quedan en la cola antes de ensamblar	24	24
Cantidad de piezas tipo volante que quedan en la cola antes de ensamblar	9	9
Cantidad de piezas tipo pechero que quedan en la cola antes de ensamblar	18	18
Cantidad de máquinas ensambladas que quedan en la cola antes de despachar	46	46
Cantidad de pedidos despachados	18	18

4.3. Escenario 3

Se hace la sugerencia de que la empresa cree un departamento o área exclusiva de despacho adicional para que esta actividad se realice en menos tiempo, de forma más organizada y controlada, es decir que cuente con personal capacitado para este fin, además que se documente la información para poder establecer indicadores y a su vez mejoras, de igual manera esta área se enfocaría en despachar los pedidos basados en variables más importantes como son las fechas de las solicitudes y el estado de pago por parte de los clientes, logrando entregar los pedidos en tiempos oportunos (Ver información en la tabla IX).

Luego de crear el área de despacho al interior de la empresa se observa que la cantidad de máquinas ensambladas sin ser despachadas disminuye considerablemente en este escenario, ya que permanecen en la cola 25 máquinas en vez de 46, es decir, logran pasar a la actividad de despacho 21 máquinas despulpadoras más en comparación con las condiciones iniciales; a su vez, la cantidad

máquinas despulpadoras despachadas aumenta de 18 a 37, es decir que bajo este escenario se le entregan a los clientes 19 máquinas más pronto (tabla X).

Tabla IX. Información empleada en el escenario 3

Objetivo	Disminuir la cantidad de máquinas en la cola después del ensamble
Factor de cambio	Actividad de despacho
Nivel 1	Crear un departamento adicional que realice la actividad de despacho
Supuesto	Crear en la empresa un departamento destinado a realizar el despacho de las máquinas de una forma más ágil, organizada y controlada
Hipótesis	Hipótesis nula: el tiempo de espera antes del despacho disminuye Hipótesis alternativa: el tiempo de espera antes del despacho no disminuye
Longitud de la corrida	1 mes = 200 horas, 10 horas laborales al día, 20 días laborales al mes
Número de réplicas	500
VARIABLES DE ESTADO	Cantidad de máquinas en la cola de despacho

Tabla X. Resultados escenario 3

Factor para analizar	Implementación nivel 1: 1 departamento de despacho	Implementación nivel 2: 2 departamentos de despacho
Cantidad de piezas tipo cilindro que quedan en la cola antes de ensamblar	0	0
Cantidad de piezas tipo cureña que quedan en la cola antes de ensamblar	24	24
Cantidad de piezas tipo volante que quedan en la cola antes de ensamblar	9	9
Cantidad de piezas tipo pechero que quedan en la cola antes de ensamblar	18	18
Cantidad de máquinas ensambladas que quedan en la cola antes de despachar	46	25
Cantidad de pedidos despachados	18	37

Finalmente, se puede concluir que el escenario 3 mejora significativamente la situación problemática de la empresa, dado que al realizar más despachos y en tiempos más cortos se logra cumplir con su propuesta de venta, la cual se basa en la satisfacción de los clientes, porque entregaría las máquinas despulpadoras de café que fabrica de alta calidad en tiempos oportunos.

Con los resultados obtenidos en el diseño experimental y con los escenarios planteados anteriormente, se recomienda a la empresa aplicar el tercer escenario propuesto, en donde se debe diseñar e implementar un área de despacho donde se tengan dos empleados calificados para dicho fin, una aplicación o programa que permita digitalizar las órdenes o remisiones de despacho, para tener

acceso a la información de forma más segura y rápida; cada despachador cuenta a su vez con un conductor, por lo que se deben planear las rutas de entrega con base en variables más importantes como la fecha de pedido y de pago del cliente; como se observó en el escenario correspondiente, la cola de máquinas ensambladas y sin ser despachadas se redujo en un 51 %, ya que se pasó de una cola de 46 a 25 máquinas, adicionalmente los despachos de las máquinas despulpadoras de café incrementaron en un 49 %, porque en se pasó 18 a 37 máquinas entregadas, por consiguiente la satisfacción del cliente será mayor.

Realizar esta implementación trae consigo unos costos tales como el talento humano requerido que sería un empleado más en el despacho, porque ya la empresa cuenta con los dos conductores y un despachador, lo que se haría es reasignar a los conductores, es decir cada despachador debe quedar con un conductor asignado, el programa o la aplicación, la adecuación del área de despacho al interior de la empresa y los equipos como computadores y materiales requeridos, los costos se observan en la tabla **XI**.

Tabla XI. Costo de la implementación

Ítem	Costo USD
Talento humano	\$ 205,79
Adecuación del área en la empresa	\$ 394,74
Equipos y materiales	\$ 789,47
Programa para digitalizar la información	\$ 526,32
Costo total	\$ 1.916,32

Finalmente, se puede concluir que el escenario tres, mejora significativamente la situación problemática de la empresa, dado que al realizar más despachos y en tiempos más cortos se logra cumplir con su propuesta de venta, la cual se basa en la satisfacción de los clientes, porque entregarían las máquinas despulpadoras de café que fabrica de alta calidad en tiempos oportunos. Junto con lo anterior se concluye que el modelo base permite hacer una fácil modificación a la estructura del sistema, permitiendo la implementación de diferentes escenarios, los cuales se restringen a partir de la factibilidad expresada por los expertos del sistema.

5. Conclusiones

La empresa presenta problemas con el cumplimiento en la entrega de las máquinas despulpadoras de café, el cual es su producto más vendido, debido a que en el proceso que implica desde la recepción del pedido hasta el despacho tiene cuellos de botellas que no permiten una entrega oportuna al cliente y genera unos sobrecostos al tener que dar descuentos sobre los valores finales de las máquinas por incumplimiento en las entregas.

El proceso inicia con la llegada del pedido de las máquinas donde se identificó que es necesario generar estrategias para consolidar la información; en la fabricación de las piezas que componen la máquina se debe trabajar en la actividad de elaboración del cilindro, dado que es un cuello de botella porque es fundamental para el ensamble; luego de ser ensambladas las máquinas se evidencia un tiempo de espera prolongado antes de ser despachadas; finalmente la actividad de despacho es de-

masiado lenta evidenciando que la empresa tiene un grave problema de logística de distribución de sus productos, esta actividad es la que genera el mayor retraso en los despachos de las máquinas despulpadoras de café.

Un aspecto de gran importancia y crítico a lo largo del trabajo fue la recopilación y el análisis de datos, puesto que son estos los que permiten tener un acercamiento al comportamiento del sistema en la realidad, realizar pruebas de bondad de ajuste para implementar el modelo que se quiere representar y finalmente garantizar una alta confiabilidad de los resultados obtenidos en dicho modelo para así generar un escenario con recomendaciones que sean válidas y factibles para la empresa.

Mediante la simulación de eventos discretos se logró simular y evaluar cómo se comportaría el sistema modelado teniendo un departamento de despacho, permitiendo mostrar un panorama a la empresa, de manera que pueda tomar decisiones acertadas evaluando los costos implicados en función del beneficio y que sería lo más recomendable tomando en cuenta las variables de estudio. No obstante, hay que evaluar la cantidad de puestos de trabajo para lograr ajustar el modelo a otras empresas del sector, dado que, así los centros de trabajo sean iguales, es necesario evaluar distribuciones de planta diferentes.

Como posibles trabajos futuros de esta investigación se pueden agregar modelos de simulación que desde su estructura modular puedan replicar cada una de las estaciones de trabajo con un simple proceso de copiado y pegado posterior a una conexión, siguiendo la secuenciación lógica que podría existir en plantas futuras de la empresa. Es necesario, además, que se evalúen las distribuciones posibles y las variaciones respecto al número de operarios al interior de la planta, de tal forma que el sistema se ajuste al modelo deseado. Y que en términos de investigaciones futuras se prevea la posibilidad de emplear modelos sistematizados a partir de la modificación física de las máquinas, es decir la inclusión de nuevas tecnologías en los procesos de despulpado al interior de este tipo de empresas, además de la posibilidad de realizar procesos de maquila externa en empresas del sector, haciendo una integración vertical del proceso productivo. También se sugiere la posibilidad de realizar un entorno online en el cual, de forma real, utilizando una mezcla de analítica de datos, se actualicen las distribuciones de cada uno de los puestos de trabajo en función de la información histórica recolectada en el quehacer diario de la planta.

Referencias

- [1] E. M. Sanmiguel Jaimés, I. Barahona, and H. H. Pérez-Villarreal, "Sensory evaluation of commercial coffee brands in Colombia", *Int. J. Bus. Syst. Res.*, vol. 9, no. 3, pp. 195-213, 2015. <https://doi.org/10.1504/IJBSR.2015.071831> ↑2, 5
- [2] A. Thomson, "Colombian coffee", *Lat. Trade*, vol. 6, no. 3, p. 74, 1998 [Online]. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=247184&lang=es&site=ehost-live> ↑2, 5
- [3] J. A. Pineda, M. Pinero, and A. Ramírez, "Coffee production and women's empowerment in Colombia", *Hum. Organ.*, vol. 78, no. 1, pp. 64-74, 2019. <https://doi.org/10.17730/0018-7259.78.1.64> ↑2
- [4] L. Bravo-Monroy, S. G. Potts, and J. Tzanopoulos, "Drivers influencing farmer decisions for adopting organic or conventional coffee management practices", *Food Policy*, vol. 58, pp. 49-61, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.11.003> ↑2
- [5] J. Miklian and J. P. Medina Bickel, "Theorizing business and local peacebuilding through the 'footprints of peace' coffee project in rural Colombia", *Bus. Soc.*, vol. 59, no. 4, pp. 676-715, 2020. <https://doi.org/10.1177/>

0007650317749441 ↑2

- [6] L. C. Olmos Villalba, E. A. Duque Grisales, and E. Rodriguez, “State of the art of coffee drying technologies in Colombia and their global development”, *Espacios*, vol. 38, no. 29, 2017. ↑2
- [7] F. M. Borém, E. P. Isquierdo, and J. H. da S. Taveira, “Coffee Processing”, in *Handbook of Coffee Post-Harvest Technology*, 2014, pp. 49-68. ↑2
- [8] L. F. Samper and X. F. Quiñones-Ruiz, “Towards a balanced sustainability vision for the coffee industry”, *Resources*, vol. 6, no. 2, 2017. <https://doi.org/10.3390/resources6020017> ↑2
- [9] H. Edelmann, X. F. Quiñones-Ruiz, and M. Penker, “How close do you like your coffee? - Examining proximity and its effects in relationship coffee models”, *J. Rural Stud.*, vol. 91, pp. 24-33, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.02.007> ↑2
- [10] F. Ceballos-Sierra, and S. Dall’Erba, “The effect of climate variability on Colombian coffee productivity: A dynamic panel model approach”, *Agric. Syst.*, vol. 190, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103126> ↑2
- [11] T. Lucas, W. D. Kelton, P. J. Sanchez, S. M. Sanchez, and B. L. Anderson, “Changing the paradigm: Simulation, now a method of first resort”, *Nav. Res. Logist.*, vol. 62, no. 4, pp. 293-303, 2015. <https://doi.org/10.1002/nav.21628> ↑3
- [12] S. Minegishi, and D. Thiel, “System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain”, *Simul. Pract. Theory*, vol. 8, no. 5, pp. 321-339, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0928-4869\(00\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0928-4869(00)00026-4) ↑3
- [13] R. Ramos-Hernández, C. Sánchez-Ramírez, D. R. Mota-López, F. Sandoval-Salas, and J. L. García-Alcaraz, “Evaluation of bioenergy potential from coffee pulp through System Dynamics”, *Renew. Energy*, vol. 165, pp. 863-877, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.040> ↑3
- [14] R. Coss Bu, *Simulación: un enfoque práctico*, México D.F.: Limusa Noriega, 1996 ↑3
- [15] N. Silveira Velloso, R. Rodrigues Magalhães, F. L. Santos, and A. A. Rezende Santos, “Modal properties of coffee plants via numerical simulation”, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 175, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105552> ↑3
- [16] E. M. Rocha, and M. J. Lopes, “Bottleneck prediction and data-driven discrete-event simulation for a balanced manufacturing line”, *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, pp. 1145-1154, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.314> ↑3
- [17] E. A. Muñoz Meneses y Y. E. Muñoz Martínez, “Capacitación, mantenimiento y arreglo de máquinas despulpadoras de Café (*Coffea arábica*) a 100 caficultores del municipio de Taminango - Nariño.”, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Pasto, 2020. [Online]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/31791> ↑3
- [18] E. T. Cortés-Macías, C. Fuentes López, P. Gentile, J. Girón-Hernández, and A. Fuentes López, “Impact of post-harvest treatments on physicochemical and sensory characteristics of coffee beans in Huila, Colombia”, *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 187, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111852> ↑3
- [19] S. Robinson, “A tutorial on conceptual modeling for simulation”, *Proceedings - 2015 Winter Simulation Conference (WSC)*, 2016, pp. 1820-1834. <https://doi.org/10.1109/wsc.2015.7408298> ↑6

Jairo Roberto Pérez González

Ingeniero Industrial de la Universidad de Antioquia.
Correo electrónico: jroberto.perez@udea.edu.co

Xiomy Carolina Cárdenas

Ingeniera Industrial de la Universidad de Antioquia.
Correo electrónico: xiomy.cardenas@udea.edu.co

Daniela Ocampo Arias

Ingeniera Industrial de la Universidad de Antioquia.
Correo electrónico: daniela.ocampo3@udea.edu.co

Yony Fernando Ceballos

Doctor en Ingeniería, Magíster en Ingeniería e ingeniero de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Profesor Titular de la Universidad de Antioquia; investigador del grupo Ingeniería y Sociedad. Actualmente es miembro de Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) y de System Dynamics Society (SDS).
Correo electrónico: yony.ceballos@udea.edu.co