

Design of a simulation model of the production process of wooden doors to improve plant layout and productivity at “Sarita Carpentry” with ProModel software and the Hexagon Method

Quispe-Vásquez Luis, Doctor en Ciencias Económicas¹, Alvitres del Valle Juan, Estudiante Ing. Industrial², Ccasa- Johanson Luisa, Estudiante Ing. Industrial³, Noriega-Leiva Marianela, Estudiante Ing. Industrial⁴, Rojas-Miranda Lucely, Estudiante Ing. Industrial⁵ and Vásquez-Vega Sharom, Estudiante Ing. Industrial⁶

1-6 Universidad Privada del Norte, Perú, luisquiva05@gmail.com, n00252434@upn.pe, n00264539@upn.pe, n00194122@upn.pe, n00032502@upn.pe, n00355624@upn.pe

Abstract- This study focuses on improving the plant layout at "Sarita Carpentry" using the hexagon method and simulating it with ProModel to increase productivity. Initially, significant problems were identified such as high rates of defective parts and inefficient machine layout. ProModel allowed us to represent the door production process that we wish to analyze. Through its use, simulations were carried out where variables such as locations, entities, arrivals, resources and processing were considered. Two scenarios were modeled: one with a new layout of machines and another that incorporated the addition of operators and a finished products warehouse. This optimization significantly improved the workflow and efficiency of the machines, resulting in an impressive 92% increase in productivity in the second simulated scenario. Furthermore, the simulation made it possible to accurately identify finished and defective products, demonstrating a considerable improvement in the distribution of carpentry and in the production of doors compared to the previous situation.

Keywords: Plant layout, Productivity, ProModel, Hexagons

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Diseño de un modelo de simulación del proceso de producción de puertas de madera para mejorar la distribución de planta y la productividad en la “Carpintería Sarita” con el software ProModel y el Método de Hexágonos

Design of a simulation model of the production process of wooden doors to improve plant layout and productivity at “Sarita Carpentry” with ProModel software and the Hexagon Method.

Quispe-Vásquez Luis, Doctor en Ciencias Económicas¹, Alvitres del Valle Juan, Estudiante Ing. Industrial², Ccasa- Johanson Luisa, Estudiante Ing. Industrial³, Noriega-Leiva Marianela, Estudiante Ing. Industrial⁴, Rojas-Miranda Lucely, Estudiante Ing. Industrial⁵ and Vásquez-Vega Sharom, Estudiante Ing. Industrial⁶

1-6 Universidad Privada del Norte, Perú, luisquiva05@gmail.com, n00252434@upn.pe, n00264539@upn.pe, n00194122@upn.pe, n00032502@upn.pe, n00355624@upn.pe

Resumen- Este estudio se enfoca en mejorar la distribución de planta en la "Carpintería Sarita" utilizando el método de hexágonos y simulándolo con ProModel para incrementar la productividad. Inicialmente, se identificaron problemas significativos como altos índices de piezas defectuosas y una disposición ineficiente de las máquinas. ProModel, nos permitió representar tal y como es el proceso de producción de puertas que deseamos analizar, mediante su uso se realizaron simulaciones en donde se consideraron variables como locaciones, entidades, arribos, recursos y procesamiento. Se modelaron dos escenarios: uno con una nueva distribución de máquinas y otro que incorporó la adición de operarios y un almacén de productos terminados. Esta optimización mejoró significativamente el flujo de trabajo y la eficiencia de las máquinas, resultando en un impresionante aumento del 92% en la productividad en el segundo escenario simulado. Además, la simulación permitió identificar con precisión los productos terminados y defectuosos, demostrando una mejora considerable en la distribución de la carpintería y en la producción de puertas comparado con la situación anterior.

Palabras Claves: Distribución de planta, Productividad, ProModel, Hexágonos

Abstract- This study focuses on improving the plant layout at "Sarita Carpentry" using the hexagon method and simulating it with ProModel to increase productivity. Initially, significant problems were identified such as high rates of defective parts and inefficient machine layout. ProModel allowed us to represent the door production process that we wish to analyze. Through its use, simulations were carried out where variables such as locations, entities, arrivals, resources and processing were considered. Two scenarios were modeled: one with a new layout of machines and another that incorporated the addition of operators and a finished products warehouse. This optimization significantly improved the workflow and efficiency of the machines, resulting in an impressive 92% increase in productivity in the second simulated scenario. Furthermore, the simulation made it possible to accurately identify finished and defective products, demonstrating a considerable improvement in the distribution of carpentry and in the production of doors compared to the previous situation.

Keywords: Plant layout, Productivity, ProModel, Hexagons

I. INTRODUCCIÓN

En el entorno empresarial actual, con una competencia intensificada y un mercado en constante evolución, las organizaciones deben tomar decisiones estratégicas de manera continua. Este entorno desafiante requiere la optimización de procesos, la gestión eficiente del tiempo y una adecuada programación de la producción para lograr la satisfacción del cliente y la competitividad deseada. De acuerdo con Ref. [1] estos enfoques permiten a las organizaciones la capacidad de identificar ineficiencias, cuellos de botella y oportunidades de mejora en sus procesos internos, lo que a su vez resulta en una mayor productividad, calidad y satisfacción del cliente, de esta forma logran adaptarse a los constantes cambios del mercado.

De igual manera, el proceso de toma de decisiones es indispensable en la gestión empresarial. Según Ref. [2] una correcta toma de decisiones permite identificar y resolver los problemas, eligiendo la mejor opción, ya que es decisivo que una empresa consiga sus metas y objetivos. Cabe resaltar, que una mala decisión no sólo tiene repercusiones financieras, sino que también puede afectar la reputación, la moral de los empleados y la eficiencia operativa, además de perjudicar la confianza y lealtad de los clientes potenciales. También puede llevar al incumplimiento de regulaciones legales, resultando en multas y sanciones, y provocar la pérdida de oportunidades de mercado importantes. Por ello, una decisión bien fundamentada puede influir positivamente en todos los aspectos del funcionamiento y competitividad de una empresa.

En el mundo de la ingeniería, la gestión empresarial y muchas otras áreas, la simulación se ha convertido en una herramienta invaluable. Permite a los expertos diseñar, evaluar y probar diferentes escenarios sin el riesgo asociado de la experimentación en un entorno real. Este enfoque permite una mejor predicción de situaciones y un diseño más efectivo de estrategias empresariales y operativas. En este contexto, la aplicación de la simulación abarca una amplia gama de áreas, desde la producción y la logística hasta la atención médica y la atención al cliente. Ante esta realidad, nos hace ver que es importante el empleo de diversas herramientas de simulación disponibles que nos permitan ver un panorama mucho más amplio. La simulación es una herramienta para diseñar, evaluar y considerar procesos nuevos y existentes sin el riesgo asociado con la experiencia en un sistema real. Es decir, permite a las organizaciones examinar sus procesos desde una perspectiva sistémica, con el objetivo de comprender mejor la causa y efecto entre ellos y permitir una mejor predicción de determinadas situaciones. Bobiller en el año de 1976 definió la simulación como una técnica para la construcción y operación de un modelo de un sistema real con la finalidad de estudiar el comportamiento de este, sin romper su entorno [3]. La simulación se viene aplicando en diversos sectores y áreas. De acuerdo con Ref. [4] estos son producción

continua, planificación de la producción en intervalos de tiempo constantes, logística, cadena de suministro y distribución, análisis de inventarios, optimización del sistema de transporte, atención al cliente, prácticas de atención médica, entre otros. En cualquier situación, el proceso de simulación proporciona los medios para analizar el sistema y permite un enfoque innovador para lograr mejores soluciones. Por otro lado, permite presentar procesos, recursos, productos y servicios en un modelo informático dinámico, que, al simular, repite la actividad empresarial, recorre eventos en menor tiempo y, por supuesto, muestra una imagen vivaz en el momento [5].

En este contexto, herramientas como el ProModel surgen como aliados poderosos destacándose por su capacidad para simular y evaluar múltiples escenarios. Esta capacidad única permite a las empresas tomar decisiones bien informadas, donde no solo se anticipen a los desafíos futuros, sino también optimicen sus recursos y reduzcan riesgos. Se establece que el ProModel es una herramienta tecnológica de software que se utiliza para modelar y experimentar con los procesos que componen un sistema que aún no ha sido lanzado [6]. En particular, el ProModel se distingue por su habilidad para analizar detalladamente los procesos de producción, lo que brinda a las organizaciones una visión clara y completa de su operación. Así mismo, en la Ref. [7], señalan que este software comercial es uno de los más usados en el mercado, el cual se enfoca a procesos de fabricación de uno o varios productos, líneas de ensamble de transformación, entre otros.

Villarreal en el año 2005 menciona que este software puede ser modelado teniendo en cuenta lo siguiente: Primeramente, las Locaciones (Locations), se refiere a una ubicación física fija en el sistema donde ocurre un evento. Una locación puede ser un objeto como una máquina, una fila, una cinta transportadora, una mesa o una estación de trabajo. También, tenemos a las entidades, son las cosas que “se mueven a través” del modelo y realizan acciones. Seguido, las llegadas (Arrivals), es cuando una entidad aparece inicialmente en una locación en el modelo. Además, también está el proceso, este describe las operaciones que toman lugar cuando una entidad está en una locación, como la cantidad de tiempo que la entidad permanece ahí, los recursos que necesita para completar el proceso y cualquier otra cosa que sucede en la locación, incluyendo seleccionar el siguiente destino. También se cuenta con los Recursos (Resources), es un tipo de objeto que se utiliza por entidades o locaciones para realizar algún tipo de actividad. Por último, tenemos la ejecución y la salida (output). El primero, establece el tiempo de simulación y la segunda muestra las estadísticas obtenidas por la simulación [8].

Un lugar de trabajo que minimiza sus costos de transporte, reagrupando las áreas en un mismo lugar es lo que Christaller, denomina la teoría de los lugares centrales afirmando que los servicios se concentran, dando lugar a una ciudad que depende del área de complemento para su tamaño [9]. Esta tendencia en las organizaciones empresariales ayuda a que una distribución de manera ordenada establezca capacidad de proveer al área o zona de captación o complementaria [10]. Es decir, el método de hexágonos es una técnica para la distribución geográfica de puntos de interés, para ello el área se divide en hexágonos regulares que cubren toda la superficie de manera más eficiente y equitativa. Este enfoque proporciona una forma precisa de mapear y analizar la distribución de zonas de influencia, como, por ejemplo, la densidad de personal, la distribución de procesos, la ubicación de máquinas, entre otros.

Ante la evolución de las empresas peruanas es importante tomar en cuenta que este crecimiento se debe a que en Perú se cuenta con una cantidad considerable de recursos forestales para el uso de este rubro, si tomamos como referencia, la FAO (2004), señala que los recursos forestales constituyen sin lugar a duda un enorme potencial que contribuyen de manera muy significativa al desarrollo socioeconómico del país [11]. En el Perú, se cuenta con una gran riqueza natural ocupando el noveno puesto con cobertura forestal, de los cuales 28.3 millones de hectáreas son aprovechadas con fines productivos.

De acuerdo con ref. [12] durante el último foro “Madera y acabados para la sostenibilidad en la construcción” organizado por ADEX, PromPerú y WWF, se compartió con el público el potencial maderable que ofrece el Perú. Donde la industria del aserrío constituye la actividad más importante para la transformación de la madera en el país. Es importante tener en cuenta que se considera “aserradero o aserrío”, aquella industria que procesa la madera en troncos para obtener productos semielaborados, tales como tablas, tablonés, durmientes, vigas y en general madera aserrada.

Así mismo, cabe resaltar que, en nuestro país, Perú, existen más de 24,500 empresas dedicadas a la primera y segunda transformación de la madera, donde el valor promedio de este sector es de s/ 977,759 de igual forma a nivel formal el sector concentra cerca de 83,952 trabajadores, pero debido a la alta informalidad del sector se estima que el número real de trabajadores de la industria es cercano a los 799,861 [13]. Esto nos permite ver la gran importancia de este sector y la necesidad de fortalecer a las empresas que se dedican a esta actividad. Específicamente en Cajamarca, se cuenta con una gran tradición en artesanía y trabajo de madera, ya que se cuenta con abundancia de recursos forestales, tales como cedro, roble, pauc, ciprés, entre otros [14]. Aunque la carpintería artesanal sigue siendo una parte importante de la industria en Cajamarca, también se están viendo esfuerzos para modernizar, mejorar las técnicas de producción y reducir el desperdicio, mediante la introducción de maquinaria y tecnologías más avanzadas contribuyendo a aumentar la eficiencia y la calidad de los productos.

Según resultados de la investigación del gobierno; el Perú identifica necesidades de las mypes en Cajamarca en el sector madera afirmando que estas empresas señalan una falta de conocimiento en técnicas de manejo de maquinaria, en innovación, capacitación (necesidad para la mejora continua); estas necesidades dificultan o hacen que el proceso productivo sea deficiente y el producto final sea de mala calidad o no tenga un valor agregado [15].

Las carpinterías de la ciudad de Cajamarca presentan problemas en su producción (baja producción), porque los operarios no cuentan con la suficiente capacitación reafirmando lo anteriormente mencionado o porque la empresa no cuenta con la asesoría de cómo distribuir mejor su planta, sus tiempos, entre otros. A pesar de que son empresas que tienen años de formación y experiencia, haciendo un análisis de esta situación y problemas nos enfocamos en una carpintería que no escapa a esta realidad. La “Carpintería Sarita” enfrenta problemas graves debido a la inadecuada distribución de sus máquinas. Donde la disposición de las máquinas es caótica, generando largos tiempos de transporte y espera entre las etapas de fabricación, aumentando el tiempo total del ciclo de producción y reduciendo la productividad. Además, la falta de sincronización entre las estaciones de trabajo y la manipulación excesiva de materiales incrementan el riesgo de daño de las piezas y la pérdida de material. Así mismo, la situación se ve agravada por la falta de almacenes adecuados, ya que los materiales están dispersos por el taller, lo que dificulta encontrarlos y utilizarlos de manera eficiente. Esta confusión provoca pérdida de material, condiciones de almacenamiento inadecuadas que causan el deterioro de las materias primas y los productos terminados, y un aumento del tiempo del operador en la búsqueda de materiales y herramientas, lo que ralentiza aún más el proceso de producción.

Todo esto ocasiona que se presente un 34% de piezas defectuosas en la producción de la carpintería, lo que significa una enorme cantidad de desperdicio de madera y otros insumos. La remanufactura o reparación de piezas defectuosas consume tiempo y recursos adicionales, lo que afecta negativamente a la rentabilidad y la satisfacción del cliente. Estos problemas reflejan ineficiencias de gestión que reducen significativamente la capacidad de producción general del taller de carpintería.

Por ello, no identificar y abordar eficazmente estos desafíos da como resultado una pérdida de productividad (60%). En consecuencia, la empresa tendrá dificultades con su capacidad para garantizar los plazos de entrega; además de satisfacer las demandas de los clientes, y la

sostenibilidad de forma rentable. Por ende, se propone implementar soluciones utilizando el programa ProModel, para simular y mejorar la producción de puertas y hacer uso del método de Hexágonos para poder tener una mejor distribución de las máquinas. Así mismo, a través de la simulación se podrá entender mejor la forma como interactúan las diferentes partes del proceso de producción y esto ayudará a reconocer áreas de cuellos de botella. Por lo tanto, se espera que mediante la aplicación de la simulación con ProModel y el Método de Hexágonos se logren obtener cambios positivos en los procesos en el taller de carpintería, resultando en mayores niveles de productividad.

En tal sentido se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera el diseño de un modelo de simulación del proceso de producción de puertas de madera, utilizando el software ProModel y el método de Hexágonos, se puede contribuir a mejorar la productividad en la “Carpintería Sarita” en el año 2024?

Se ha considerado como objetivo general: Aplicar el software ProModel y el Método de Hexágonos para mejorar la productividad en el proceso de producción de puertas en la “Carpintería Sarita”. Como objetivos específicos se tiene: Diagnosticar la situación actual de la empresa en cuanto a su infraestructura operativa y logística relacionada con la producción de puertas de madera, con el propósito de identificar áreas de mejora y puntos críticos en dicho proceso. Además, aplicar el software ProModel con la finalidad de simular y encontrar soluciones a los problemas identificados, permitiendo así optimizar el flujo de trabajo y eliminar posibles cuellos de botella. Finalmente, evaluar el impacto de las soluciones implementadas mediante el software ProModel, en la productividad.

II. METODOLOGÍA

Tipo de Estudio: Preexperimental. Una investigación preexperimental es un diseño de investigación en la que se estudia el efecto de una variable o tratamiento sobre un grupo de personas sin utilizar un grupo de control equivalente de manera rigurosa. Esto implica la comparación de resultados antes y después de la aplicación del tratamiento en un solo grupo experimental. Este enfoque es útil para explorar relaciones preliminares entre variables o para generar hipótesis que puedan ser investigadas profundamente en estudios posteriores. De acuerdo con Ref. [16] comparar los resultados del grupo experimental antes y después de la aplicación del tratamiento con los del grupo no tratado constituye este tipo de investigación.

PROCEDIMIENTO

En las siguientes etapas describiremos lo desarrollado durante la investigación en la “Carpintería Sarita” con ayuda de varias herramientas y métodos, y cómo la información proporcionada se utilizó para aplicar el programa ProModel y el Método de Hexágonos para la simulación de modelos con el fin de mejorar la distribución de planta y por ende la productividad en la carpintería.

Fase 1: Durante esta etapa, recopilamos toda la información pertinente sobre la empresa, incluyendo sus procesos de producción, tiempos de fabricación, recursos disponibles, entre otros aspectos relevantes. Utilizamos herramientas como el Diagrama de Análisis y procesos (DAP), para dar a conocer el proceso de fabricación de las puertas de madera.

Fase 2: Después de recopilar la información, procedemos a aplicar el método de Hexágonos para de esta forma lograr una ubicación adecuada de las máquinas empleadas en el proceso de fabricación de puertas. Logrando de esa forma reducir cuellos de botellas, tiempos muertos, desperdicios, entre otros factores.

Fase 3: Una vez realizado el método de Hexágonos, pasamos a la fase de modelado en ProModel. Mediante este software vamos a tener 3 modelamientos diferentes.

III. RESULTADO

3.1. Diagnóstico de la empresa.

Se realizó una visita a la "Carpintería Sarita", en la que se identificó el proceso de fabricación de puertas de madera y se recopilaron los datos necesarios para realizar un diagnóstico completo. Se sabe que, durante un período de cuatro meses, del total de la producción de puertas un 34% resultaron defectuosas. Esta tasa de defectos indica un área crítica de mejora en el control de calidad y en los procesos de inspección durante y después de la producción. Lo que indica que hay varias áreas donde se pueden implementar mejoras para aumentar la productividad y reducir desperdicios.

La planta presenta oportunidades de mejora que podrían aumentar la eficiencia y reducir los desperdicios en la producción. A continuación, se describe el proceso de producción actual, el cual está distribuido en diferentes áreas:

Cepillado y Rebajado en Garlopa: Durante esta etapa, la madera se somete a cepillado y rebajado para alcanzar las dimensiones requeridas. Se detectaron demoras debido a la capacidad limitada de la garlopa, lo que sugiere la oportunidad de optimizar la eficacia en este proceso.

Cortado de Forma Recta con Sierra Circular: En esta fase, la madera se corta en piezas rectas mediante una sierra circular. Los registros indican que esta actividad es efectiva, aunque la acumulación de polvo podría plantear preocupaciones de salud y seguridad de los operarios.

Alisado de la pieza con cepilladora: Tras el corte, las piezas se someten a un proceso de alisado para eliminar posibles imperfecciones. Se notó una variación en los tiempos de alisado, atribuida a disparidades en la calidad de la madera recibida. Esto apunta a la importancia de implementar un control de calidad más riguroso en la materia prima.

Cortado de Bastidor con Radial de Mesa: Utilizando una radial de mesa, se cortan las piezas de madera para darles forma de bastidor. Esta fase es crucial y se lleva a cabo sin contratiempos significativos. Sin embargo, se sugiere que la incorporación de una segunda máquina podría aumentar la capacidad de producción.

Cortado de Madera para Marco con Sierra Circular: Se cortan las piezas necesarias para los marcos de las puertas. Aunque el proceso es eficiente, se ha reconocido la importancia de mejorar la disposición del área de trabajo para disminuir los tiempos de preparación y manejo de materiales.

Perfilado y Ranura con Tupi: Se realizan perfiles y ranuras en las piezas de madera utilizando una tupi. Durante la observación, se notó que la configuración y ajuste de la máquina requieren un tiempo considerable, lo que podría mejorarse mediante prácticas más eficientes de preparación.

Incorporado con Marco de Madera en el Banco para Prensar: Las piezas se ensamblan con los marcos y se prensan para asegurar la unión. Aunque el proceso de ensamblaje es eficiente, se sugiere mejorar la ergonomía del entorno laboral para disminuir la fatiga del operador.

Lijado y Pulido de Puerta con la Moladora: Las puertas ensambladas se liján y pulen para obtener un acabado suave. Esta etapa, que es una de las más extensas en términos de tiempo, plantea la opción de mejorar mediante la adquisición de equipos más sofisticados o la semi automatización del proceso.

Pintado con la Compresora: Las puertas se pintan utilizando una compresora para aplicar una capa uniforme de pintura. Se observó una considerable variabilidad en los tiempos de secado, influenciados por las condiciones ambientales, lo que podría gestionarse más eficazmente mediante un sistema de control climático.

Almacenaje: Las puertas terminadas se almacenan en el área de productos terminados. Se notó que el espacio disponible es

insuficiente, lo que podría ocasionar congestión y demoras en la preparación de los envíos. Por lo tanto, se sugiere mejorar la logística interna y considerar la posibilidad de ampliar el área de almacenamiento.

TABLA II
RESUMEN DEL DIAGRAMA DE ANÁLISIS Y PROCESOS

RESUMEN		
ACTIVIDAD	NÚMERO	TIEMPO
OPERACIÓN	12	115.8 min
INSPECCIÓN	1	3.2 min
TRANSPORTE	4	5.9 min
DEMORA	1	0 min
ALMACENAMIENTO	1	0 min
TOTAL	19	124.9

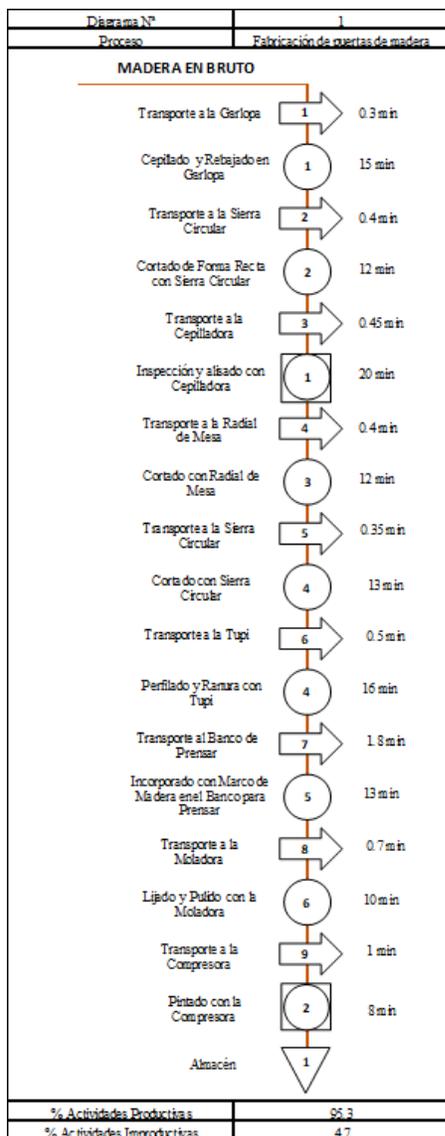


Fig. 1 Diagrama de Análisis y Procesos

En la figura 1 se muestra la secuencia del proceso de producción de las puertas de la Carpintería Sarita.

TABLA I
DIAGRAMA DE ANÁLISIS Y PROCESOS

EMPRESA		"CARPINTERÍA SARITA"				
UBICACIÓN	PROCESO	OPERACIÓN	INSPECCIÓN	TRANSPORTE	DEMORA	ALMACENAMIENTO
RESUMEN	Producción de puertas de madera	9	1	9	0	1
CANTIDAD TOTAL	20					
TIEMPO TOTAL (MIN)	126.9 m					
DISTANCIA TOTAL (MTS)						
Nº	ACTIVIDADES			DISTANCIA	TIEMPO	OBSERVACIONES
01	Traslado de madera en bruto a la garlopa			0.3		
02	Cepillar y rebajar			1.5		De maderas primas e insano
03	Traslado a la sierra circular			0.4		
04	Cortar de forma recta			12		Almacén de materias primas e insano
05	Traslado a la cepilladora			0.45		
06	Inspección			3.2		
07	Alistado con cepilladora			16.8		Actividad presia Nº 06
08	Traslado a la radial de mesa			0.4		Actividad presia Nº 07
09	Cortar			12		
10	Traslado a la sierra circular			0.35		
11	Cortar			13		Actividad presia Nº 10
12	Traslado a tupi			0.5		Actividad presia Nº 11
13	Perfilar y hacer ranura			16		Actividad presia Nº 12
14	Traslado al banco de prensar			1.8		Actividad presia Nº 13
15	Incorporar marco de madera			13		
16	Traslado a la moladora			0.7		Del almacén
17	Lijar y pulir			10		
18	Traslado a la compresora			1		Actividad presia Nº 17
19	Pintado			8		
20	Almacenar			2		
				126.9		

En la tabla I se muestra el DAP de la empresa respecto a la producción de puertas

Cálculo de las Actividades productivas e Improductivas

$$\% \text{Actividades Productivas} = \frac{115.8 + 3.2}{124.9} \times 100$$

$$\% \text{Actividades Productivas} = 0.953 \times 100$$

$$\% \text{Actividades Productivas} = 95.3\%$$

$$\% \text{Actividades Improductivas} = \frac{5.9 + 0}{124.9} \times 100$$

$$\% \text{Actividades Improductivas} = 0.047 \times 100$$

$$\% \text{Actividades Improductivas} = 4.7\%$$

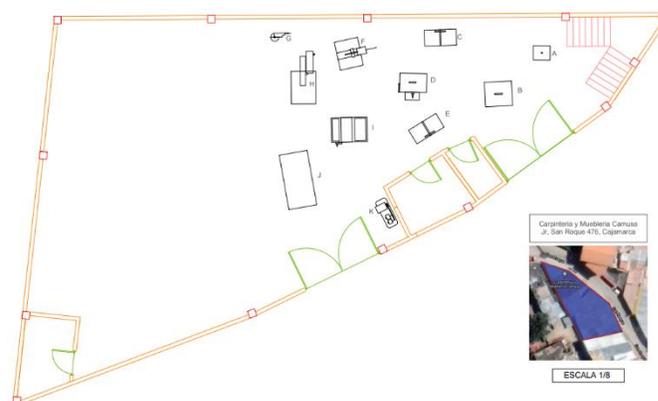


Fig. 2 Plano y distribución actual de la empresa "CARPINTERÍA SARITA" Elaborado en AutoCAD, con medidas reales tomadas de la de la carpintería, el área total es de 252m2.

El presente plano muestra la disposición de la planta, donde las máquinas se encuentran dispersas sin tomar en cuenta las distancias que el operario tendrá que recorrer durante el proceso de elaboración de puertas, por lo que con su actual distribución los operarios no aprovechan el tiempo de recorrido eficientemente, además carece de un espacio designado para el almacén de las puertas, debido a que estas son almacenadas en cualquier espacio disponible dentro de la planta. Esto conlleva a una producción deficiente y un aumento del riesgo para la salud de los trabajadores debido a la falta de seguridad.

En la tabla siguiente, cada letra corresponde a una máquina específica, como se detalla a continuación:

TABLA VI
MÁQUINAS EMPLEADAS EN LA PRODUCCIÓN DE PUERTAS

A	TUPI
B	SIERRA
C	GARLOPA
D	SIERRA CIRCULAR
E	GARLOPA
F	RADIAL DE MESA
G	MOLADORA
H	SIERRA DE MESA
I	CEPILLADORA
J	BANCO PARA PRENSAR
K	COMPRESORA

APLICACIÓN DEL SOFTWARE PROMODEL

DISTRIBUCIÓN INICIAL - ESCENARIO 1

Icono	Nombre	Cap.	Unidades
[Icono]	TUPI	1	1
[Icono]	SIERRA	1	1
[Icono]	GARLOPA	1	1
[Icono]	SIERRA_CIRCULAR	1	2
[Icono]	SIERRA_CIRCULAR1	1	1
[Icono]	SIERRA_CIRCULAR2	1	1
[Icono]	GARLOPA_2	1	1
[Icono]	RADIAL_DE_MESA	1	1
[Icono]	CEPILLADORA	1	1
[Icono]	COMPRESORA	1	1
[Icono]	MOLADORA	1	1
[Icono]	BANCO_PARA_PRENSAR	1	1
[Icono]	ENTRADA_MP	1	1
[Icono]	PIEZAS_DEFECTUOSAS	INFINITE	1

Fig. 7 Locaciones - Parte I

En la imagen se muestran las diferentes locaciones con las cuáles cuenta la Carpintería Sarita, así como la capacidad y las unidades de estas.

Nombre	Estadist	Reglas
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo, Primera
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo, FIFO
Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo, FIFO

Fig. 8 Locaciones - Parte II

En la imagen se muestran las estadísticas para cada locación y la reglas de decisión de estas.

Icono	Nombre
[Icono]	MADERA_EN_BRUTO
[Icono]	MADERA_CEPILLADA
[Icono]	MADERA_CORTADA
[Icono]	MADERA_PERFILADA
[Icono]	PUERTA_CON_MARCO
[Icono]	PRODUCTO_TERMINADO
[Icono]	PUERTA_LIJADA
[Icono]	MADERA_ALISADA

Fig. 9 Entidades - Parte I

En la imagen se muestran las diferentes entidades con las que trabaja la Carpintería Sarita desde la madera en bruta hasta el producto final que en este caso es la madera alisada.

Velocidad (Ppm)	Estadist
150	Serie de tiempo

Fig. 10 Entidades - Parte II

En la imagen se muestran la velocidad y las estadísticas establecidas para cada entidad.

Entidad	Locación	Cant. por Arribo	Primera Vez
MADERA_EN_BRUTO	ENTRADA_MP	1	0

Fig. 11 Arribos - Parte I

En la imagen se muestran los arribos establecidos, que en este caso es la madera en bruto. Así como, su locación y su cantidad.

Ocurrencias	Frecuencia	Lógica	Deshab.
INF	0.033		No

Fig. 12 Arribos - Parte II

En la imagen se establece las ocurrencias para el arribo, como su frecuencia.

Icono	ID	Tipo
[Icono]	Nro_PUERTAS_BUENAS	Integer
[Icono]	Nro_PUERTAS_RECHAZAS	Integer

Fig. 13 Variables - Parte I

En la imagen se muestran las dos variables que se establecieron tanto para puertas buenas como para las rechaza.

Valor Inicial	Estadist
0	Serie de tiempo, Tiempo
0	Serie de tiempo, Tiempo

Fig. 14 Variables - Parte II

En la imagen se muestra el valor inicial y las estadísticas para las variables anteriormente establecidas.

TABLA VII
PROCESAMIENTO

ENTIDAD	LOCACIÓN	OPERACIÓN	SALIDA	ENRUTAMIENTO	
				REGLA	LOGICA DE MOVIMIENTO
MADERA EN BRUTO	ENTRADA_MP		MADERA EN BRUTO	FIRST 1	MOVE FOR 3
MADERA EN BRUTO	GARLOPA_2	WAIT 15	MADERA CEPILLADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.4
MADERA CEPILLADA	SIERRA_CIRCULAR	WAIT 12	CEPILLADORA	FIRST 1	MOVE FOR 0.45
MADERA_CORTADA	CEPILLADORA	WAIT 20	MADERA_ALISADA	0.66 I	Inc Nro. PUERTAS_BUENAS
				0.34	Inc Nro. PUERTAS_RECHAZAS
MADERA ALISADA	RADIAL_DE_MESA	WAIT 12	MADERA ALISADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.35
MADERA ALISADA	SIERRA_CIRCULAR	WAIT 13	MADERA ALISADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.5
MADERA ALISADA	TUPI	WAIT 16	MADERA PERFILADA	FIRST 1	MOVE FOR 1.8
MADERA PERFILADA	BANCO PARA PRENSAR	WAIT 13	PUERTA CON MARCO	FIRST 1	MOVE FOR 0.7
PUERTA CON MARCO	MOLADORA	WAIT 10	PUERTA LIJADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.1
PUERTA LIJADA	COMPRESORA	WAIT 8	PRODUCTO TERMINADO	FIRST 1	

En la tabla VII, se muestra en la regla un valor de 66% para puertas buenas y un 34% para las puertas rechazadas. Estos valores se obtuvieron como dato inicial de los registros de la Carpintería Sarita, ya que; esta presenta una falta de almacenamiento adecuado provocando pérdidas de material, deterioro de inventarios y retrasos en la producción.



Fig. 15 Distribución inicial de la Carpintería Sarita
Se consideró que se laboran 10 horas.

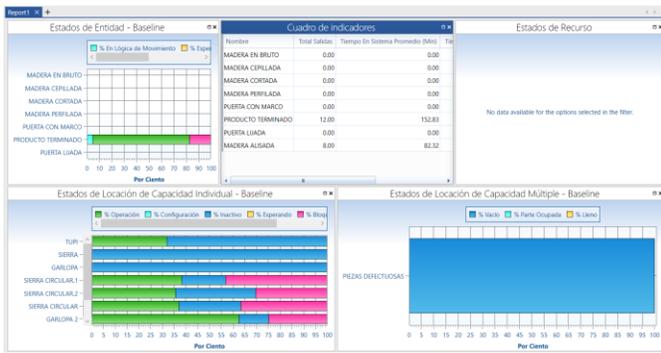


Fig. 16 Cuadro de reportes

El número de productos terminados manteniendo la distribución inicial es de 12.

Variable Resumen					
Nombre	Total Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Min)	Valor Mínimo	Valor Actual	Valor Promedio
Nro PUERTAS BUENAS	13.00	35.40	0.00	13.00	8.35
Nro PUERTAS RECHAZAS	8.00	54.97	0.00	8.00	3.70

Fig. 17 Cuadro resumen de variables

Con la distribución inicial se muestra que la Carpintería Sarita cuenta dentro del proceso con 13 puertas buenas y 8 rechazadas.

SIMULACIÓN DE LA NUEVA DISTRIBUCIÓN – ESCENARIO 2



Fig. 18 Simulación de la nueva distribución de la Carpintería Sarita luego de aplicar hexágonos

TABLA VIII

PROCESAMIENTO DE LA NUEVA DISTRIBUCIÓN DE LA CARPINTERÍA SARITA

PROCESO			ENRUTAMIENTO		
ENTIDAD	LOCACIÓN	OPERACIÓN	SALIDA	REGLA	LOGICA DE MOVIMIENTO
MADERA EN BRUTO	ENTRADA MP		MADERA EN BRUTO	FIRST 1	MOVE FOR 2
MADERA EN BRUTO	GALOPA 2	WAIT 15	MADERA CEPILLADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.3
MADERA CEPILLADA	SIERRA CIRCULAR	WAIT 12	CEPILLADORA	FIRST 1	MOVE FOR 0.35
MADERA CORTADA	CEPILLADORA	WAIT 20	MADERA ALISADA	0.75 1	Inc Nro PUERTAS BUENAS
MADERA ALISADA	RADIAL DE MESA	WAIT 12	MADERA ALISADA	0.25	Inc Nro PUERTAS RECHAZAS
MADERA ALISADA	SIERRA CIRCULAR	WAIT 13	MADERA ALISADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.35
MADERA ALISADA	TUPI	WAIT 16	MADERA PERFILADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.55
MADERA PERFILADA	BANCO PARA PRENSAR	WAIT 13	PUERTA CON MARCO	FIRST 1	MOVE FOR 0.55
PUERTA CON MARCO	MOLADORA	WAIT 10	PUERTA LIADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.05
PUERTA LIADA	COMPRESORA	WAIT 8	PRODUCTO TERMINADO	FIRST 1	MOVE FOR 0.05

En la tabla VIII, se muestra que al contar con una nueva distribución el “Move for” se reduce notablemente. Así mismo, esto se evidencia en el porcentaje de puertas buenas el cual es de un 75% y un 25% para las puertas rechazadas; esto se debe a que hay menos distancias entre las máquinas debido a la nueva distribución planteada y por ende los operarios ya no pierden tiempo, y pueden seguir operando de forma rápida, evitándose la pérdida de materiales o que estos se dañen.

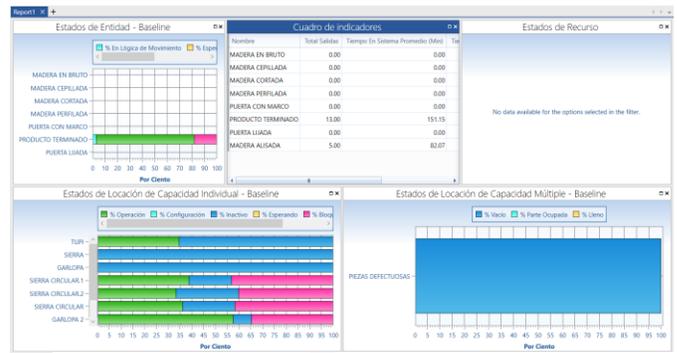


Fig. 19 Cuadro de reportes

El número de productos terminados con la nueva distribución es de 13.

Variable Resumen						
Nombre	Total Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Min)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
Nro PUERTAS BUENAS	14.00	29.74	0.00	14.00	14.00	9.20
Nro PUERTAS RECHAZAS	5.00	79.19	0.00	5.00	5.00	2.41

Fig. 20 Cuadro resumen de variables

Con la nueva distribución se muestra que la Carpintería Sarita cuenta dentro del proceso con 14 puertas buenas y 5 rechazadas.

SIMULACIÓN DE LA NUEVA DISTRIBUCIÓN CONTANDO CON 3 OPERARIOS Y UN ALMACÉN – ESCENARIO 3

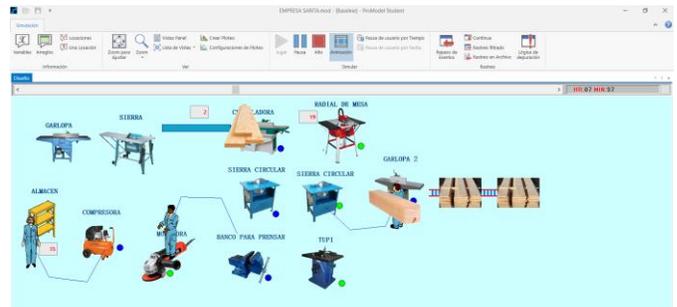


Fig. 21 Simulación de la nueva distribución de la Carpintería Sarita incluyendo 3 operarios y un almacén de productos terminados

Variable	ID	Tipo	Valor inicial	Estado
Nro PUERTAS BUENAS	1	Integer	0	Series de tiempo, Tiempo
Nro PUERTAS RECHAZAS	2	Integer	0	Series de tiempo, Tiempo
Nro PUERTAS TERMINADAS	3	Integer	0	Series de tiempo, Tiempo

Fig. 22 Variables

Operario	Nombre	Unidad	Titu	Estado	Defect	Reparar	Logica	Ph	Nota
OPERARIO 1		1	Negativa	Por Unidad Series de tiempo (Unit: 1)	Negativa	0		1	
OPERARIO 2		1	Negativa	Por Unidad Series de tiempo (Unit: 1)	Negativa	0		1	
OPERARIO 3		1	Negativa	Por Unidad Series de tiempo (Unit: 1)	Negativa	0		1	

Fig. 23 Recursos
Se adicionó 3 operarios

Redes de Ruta	Nombre	Subtipo	Tipo	Tiempo	Unit	Max	Min	Defect	Reparar	Ph	Nota
RUTA 1		Subtipo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RUTA 2		Subtipo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RUTA 3		Subtipo	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fig. 24 Redes de ruta

TABLA IX
PROCESAMIENTO DE LA CARPINTERÍA SARITA

PROCESO			ENRUTAMIENTO		
ENTIDAD	LOCACIÓN	OPERACIÓN	SALIDA	REGLA	LOGICA DE MOVIMIENTO
MADERA EN BRUTO	ENTRADA MP		MADERA EN BRUTO	FIRST 1	MOVE FOR 2
MADERA EN BRUTO	GALOPA 2	WAIT 15	MADERA CEPILLADA	FIRST 1	MOVE WITH OPERARIO THEN FREE
MADERA CEPILLADA	SIERRA CIRCULAR	WAIT 12	CEPILLADORA	FIRST 1	MOVE FOR 0.35
MADERA CORTADA	CEPILLADORA	WAIT 20	MADERA ALISADA	0.85 1	Inc Nro PUERTAS BUENAS
MADERA ALISADA	RADIAL DE MESA	WAIT 12	MADERA ALISADA	0.15	Inc Nro PUERTAS RECHAZAS
MADERA ALISADA	SIERRA CIRCULAR	WAIT 13	MADERA ALISADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.25
MADERA ALISADA	TUPI	WAIT 16	MADERA PERFILADA	FIRST 1	MOVE WITH OPERARIO 2 THEN FREE
MADERA PERFILADA	BANCO PARA PRENSAR	WAIT 13	PUERTA CON MARCO	FIRST 1	MOVE FOR 0.55
PUERTA CON MARCO	MOLADORA	WAIT 10	PUERTA LIADA	FIRST 1	MOVE FOR 0.05
PUERTA LIADA	COMPRESORA	WAIT 8	PRODUCTO TERMINADO	FIRST 1	MOVE FOR 0.05
PRODUCTO TERMINADO	ALMACEN	WAIT 8	PRODUCTO TERMINADO	FIRST 1	MOVE WITH OPERARIO 3 THEN FREE

En la tabla IX, se muestra y evidencia que el porcentaje de puertas buenas es de un 85% y un 15% para las puertas rechazadas; esto se debe a que en esta simulación se emplearon tres operarios y se agregó un almacén de productos terminados; reduciendo de esta forma

tiempos y evitando daños en el producto terminado.

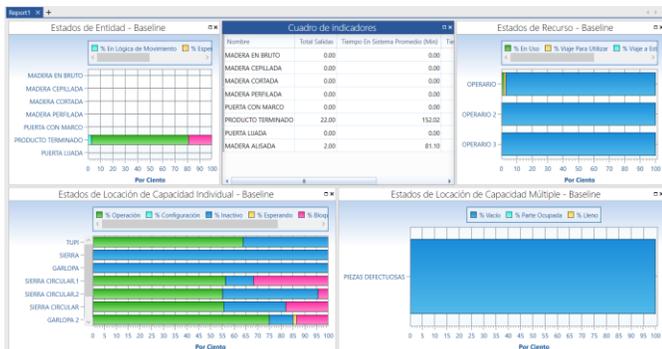


Fig. 25 Cuadro de reportes.

El número de productos terminados con la nueva distribución teniendo en cuenta los 3 operarios agregados y el almacén es de 22.

Variable Resumen						
Nombre	Total Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Min)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
Nro PUERTAS BUENAS	26.00	23.06	0.00	26.00	26.00	12.00
Nro PUERTAS RECHAZAS	2.00	187.80	0.00	2.00	2.00	0.85
Nro PUERTAS TERMINADAS	22.00	26.87	0.00	22.00	22.00	9.11

Fig. 26 Cuadro resumen de variables

Con la nueva distribución, incluyendo 3 operarios y un almacén se muestra que la Carpintería Sarita cuenta dentro del proceso cuenta 26 puertas buenas, 2 rechazadas y 22 terminadas.

3.3. Comparación del antes y después del estado de la empresa en función a la estimación de la propuesta

A la “Carpintería Sarita” en estudio se le aportó la solución a los objetivos planteados en la investigación para la propuesta de distribución y mejora de productividad en la producción de puertas, lo que le generó un gran beneficio a nivel de productividad, ya que, va a tener conocimiento sobre qué acciones realizar para obtener menos productos defectuosos.

ANTES	DESPUÉS
La Carpintería Sarita enfrenta problemas con productos defectuosos y tiempos muertos debido a una distribución inadecuada de sus máquinas, que están ubicadas a grandes distancias y no en un flujo continuo. Esto provoca interrupciones en el flujo de trabajo, riesgo de daños durante el transporte de piezas, condiciones inconsistentes y fatiga en los operarios, lo que aumenta la probabilidad de errores. Se sabe que la empresa produce diariamente 12 puertas correctamente y 8 puertas rechazadas por defectos. En consecuencia, la productividad de la Carpintería Sarita es del 0.6 o 60%. Esto indica que el 60% de las puertas fabricadas	Después de aplicar el software ProModel, se consideró que sería beneficioso para la Carpintería Sarita redistribuir sus máquinas para optimizar el flujo de insumos y el recorrido de la materia prima hasta el producto terminado, evitando así pérdidas de tiempo debido a largas distancias y aumentando la productividad. Para ello, se llevaron a cabo dos simulaciones que arrojaron los siguientes resultados: En la primera simulación, con la nueva distribución de máquinas, se logró un ligero incremento en los productos terminados, pasando de 12 a 13, y una reducción en los productos defectuosos de 8 a 5,

diariamente son correctas, lo que resulta en pérdida de insumos, mayores costos e insatisfacción del cliente.

estimándose una productividad del 72%.

En la segunda simulación, además de la nueva distribución, se implementaron 3 operarios adicionales y se creó un área de almacén para los productos terminados. Esto resultó en la producción de 22 puertas terminadas y una reducción a 2 puertas defectuosas, estimándose una productividad del 92%, mostrando así una notable mejora en comparación con la situación inicial.

Por lo tanto, la segunda simulación demostró una mejora significativa en la productividad gracias a la nueva distribución de máquinas, el aumento de operarios y el establecimiento de un almacén. Se logró casi duplicar la cantidad de puertas terminadas (de 12 a 22) y reducir los defectos a más de la mitad (de 8 a 2).

IV. DISCUSIÓN

La aplicación del método de hexágonos generó un impacto en la eficiencia que facilitó la reorganización física de las máquinas en la “Carpintería Sarita”, esto logró la distribución más óptima para mejorar el flujo de trabajo en los operarios, al igual que reducir los tiempos muertos en el traslado de material de una estación a otra ayudando a aumentar la productividad y reduciendo los costos operativos concordando con lo que señala la Ref. [10].

Así mismo, concordando con la Ref. [6] la aplicación del software ProModel nos ayudó a modelar diversos escenarios permitiendo tener una visión de lo que podría suceder si se aplicaban. Lo que nos permitió, identificar los productos terminados; en base a esto se implementó cambios significativos lo que significó una mejora en el proceso de producción maximizando los recursos, logrando producir de forma óptima, en mayor cantidad y teniendo un margen de rechazo mucho menor; lo que también hace que la carpintería aproveche el máximo potencial del personal y la maquinaria.

De igual forma, según lo que nos menciona la Ref. [8], al hacer empleo de este software también vamos a poder modelar teniendo en cuenta las locaciones, entidades, arribos, recursos, procesamiento, variables los cuales nos permitieron hacer uso de 3 escenarios. El primer escenario muestra la situación actual, la segunda muestra el nuevo panorama con la redistribución que se obtuvo de los hexágonos y en el último se hace empleo de 3 operarios y se agrega un almacén de productos terminados. Estos escenarios muestran una mejora significativa en la distribución de la carpintería y en la producción de puertas en comparación con la distribución de planta con la que ya contaba y la producción que se tenía.

Por ello, la combinación del uso del método de hexágonos y ProModel

contribuyó eminentemente a la reducción de desperdicios, energía y tiempo en el proceso productivo, contribuyendo a incrementar la rentabilidad y productividad de la carpintería sin afectar la calidad del producto terminado.

V. CONCLUSIONES

El análisis de la Carpintería “Sarita” revela serios inconvenientes en la disposición de sus máquinas, obligando a los trabajadores a recorrer largas distancias, lo que prolonga los tiempos de producción y genera varios productos defectuosos, lo que afecta la rentabilidad y la satisfacción del cliente. La descoordinación entre las estaciones de trabajo eleva el riesgo de daños. Además, la dispersión de materiales complica el acceso y uso correcto de los insumos, afectando tanto a las materias primas como a los productos terminados. La principal causa de estos problemas radica en la ausencia de métodos adecuados para la distribución de la planta.

Al aplicar el Método de Hexágonos, conseguimos mejorar la distribución de las áreas de trabajo en la carpintería, enfocándonos en optimizar la interacción entre las distintas estaciones. Empleamos ProModel para simular el proceso de producción en tres escenarios diferentes. En el primer escenario, analizamos la disposición inicial de la carpintería, lo que reveló problemas como largos tiempos de desplazamiento y altos niveles de defectos en los productos. En el segundo escenario, implementamos una nueva distribución optimizada de las áreas. En el tercer escenario, además de ajustar la distribución, añadimos tres operarios estratégicamente ubicados y un almacén para productos terminados.

Después de realizar simulaciones detalladas con ProModel en la Carpintería “Sarita”, se han obtenido resultados significativos que destacan la eficacia de las mejoras propuestas. En el segundo escenario, la nueva disposición demostró ser considerablemente más eficiente al reducir los tiempos de desplazamiento y aumentar la producción diaria dentro de las 10 horas laborables de la carpintería. Esto se tradujo en una mayor productividad y una notable disminución en la cantidad de productos defectuosos. Comparativamente, el tercer escenario arrojó resultados aún más positivos, con una reducción de más del 50% en las puertas defectuosas. Estos hallazgos representan una significativa mejora tanto en la productividad como en la calidad del producto final entregado al cliente. Estos resultados subrayan la importancia de la simulación y la optimización en la gestión de procesos para lograr mejoras tangibles en la producción y calidad de productos manufacturados. Considerando estos resultados, se recomienda que la empresa implemente el tercer escenario. Esto no solo proporcionará las ventajas mencionadas anteriormente, sino que también situará a la Carpintería de manera más competitiva en el mercado, cumpliendo con los estándares de calidad y eficiencia exigidos por los clientes.

REFERENCIAS

- [1] Estratagema de Negocios Consultores (2023). "Optimización de Procesos Empresariales: Estrategias para la Eficiencia y el Éxito". LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/optimizaci%C3%B3n-de-procesos-empresariales/>
- [2] Vélez, M. (2006). EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES COMO UN ESPACIO PARA EL APRENDIZAJE EN LAS ORGANIZACIONES *Revista Ciencias Estratégicas*, Vol. 14. N° 16. Pág 153-169. <https://www.redalyc.org/pdf/1513/151320326003.pdf>
- [3] Bermúdez, L. & Carreño, D. (2011). HACIA EL USO DE LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS DE PROYECTOS DE INVERSIÓN. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, Vol.1, N°.2, Año 2011, 40– 52. ISSN: 2027-8306.
- [4] Balderas, J.; Cantú, J.& Guardado, M. (2016). *Simulación de*

- [5] *procesos, una perspectiva en pro del desempeño operacional*. Vol. 3. Núm. 5. <https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/567>
- [6] Banks, J., Carson, J.; NELSON, B. & Nicol, D. (2009). *Discrete-Event System Simulation*. Ed. 4th. <https://bayanbox.ir/view/2964535763283208541/DESS-JBanks-4thEd.pdf>
- [7] Fullana, C. & Urquía, E. (2009). Los modelos de simulación: Una herramienta multidisciplinar de investigación. *UAM Biblioteca*. Vol. 11, N° 32, 2009, págs. 37-48. https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/679256/EM_32_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [8] García, R.; Eguía, A. y Izaguirre, G. (2015). "Uso de la herramienta de software PROMODEL como estrategia didáctica en el aprendizaje basado en competencias de simulación de procesos y servicios". *Revista TECTZAPIC*. N° 1. <http://www.eumed.net/rev/tectzagic/2015/01/promodel.html>
- [9] Cárdenas, L.; García, E. & Gracia, H. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. Pearson Educación. Primear edición. https://books.google.com.pe/books?id=VuEfwTf1QMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [10] Garrocho, C. (2003). La teoría de interacción espacial como síntesis de las teorías de localización de actividades comerciales y de servicios. *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. IV (14):203-251. <https://www.redalyc.org/pdf/111/11101402.pdf>
- [11] García, R.; Eguía, A. y Izaguirre, G. (2015). "Uso de la herramienta de software PROMODEL como estrategia didáctica en el aprendizaje basado en competencias de simulación de procesos y servicios". *Revista TECTZAPIC*. N° 1. <http://www.eumed.net/rev/tectzagic/2015/01/promodel.html>
- [12] Ministerio de la Producción (2015). *ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN DEL SECTOR MADERA*. 1a Edición. <https://ogeiee.produce.gob.pe/images/oe/Doc/madera.pdf>
- [13] World Wildlife Fund (2021). *Madera peruana, un recurso para construir un país sostenible*. <https://www.wwf.org.pe/?370991/Madera-peruana-un-recurso-para-construir-un-pais-sostenible>
- [14] Organización para la Agricultura y la Alimentación (2019). *ENTRENAMIENTO DE COMPETENCIAS EMPRESARIALES EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA*. <https://foris.fao.org/flegt/api/file/5f2dc1d9d9ae8d0a2d8ed9f8/79ac534e-a9ce-4be4-990e-b35212ef5878.pdf>
- [15] Atlas Cajamarca (s.f.). *Especies forestales predominantes*. <http://www.atlascajamarca.pe/provincial/celendin/chumuch/index39f8.html>
- [16] Secretaría De Gobierno y Transformación Digital (2020). *Situación de las Mypes de madera en Cajamarca*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3656921/Presentaci%C3%B3n%20de%20hallazgos.pdf>
- [17] Adis, G. (s.f.). *CONCEPTOS BASICOS DE INVESTIGACIÓN*. <https://www.binass.sa.cr/bibliotecas/bhp/cupula/v6n12/art1.pdf>