

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



Mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta aplicando el software ProModel en una empresa ladrillera para incrementar su productividad

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

AUTOR

Fatima Carrasco Estela

ASESOR

Santos Confesor Gabriel Blas

<https://orcid.org/0000-0003-0306-108X>

Chiclayo, 2023

Informe de Trabajo Final - Carrasco Estela Fátima

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	docplayer.es Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	staging.oec.world Fuente de Internet	<1%
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	4
Abstract.....	5
Introducción.....	6
Revisión de literatura.....	7
Materiales y métodos.....	11
Discusión	23
Referencias bibliográficas	26
Anexos.....	29

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue diseñar la mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta aplicando el software ProModel para incrementar la productividad de la empresa. Como diagnóstico inicial, se evidenció que la etapa de cocción era el cuello de botella del proceso, con un tiempo de 675 minutos, generando que la empresa cuente con una producción de 5 lotes/semana y una productividad de maquinaria de 200 ladrillos/semana por máquina. Esto se debe a causa de la obsolescencia y baja capacidad del horno. Con base en ello, se propuso el reemplazo del horno, por uno que funcione a gas y de mayor capacidad. Dicha mejora fue simulada en el software ProModel, donde se obtuvo como resultado que la etapa de cocción dejó de ser el cuello de botella del proceso, puesto que ahora se realiza en 300 minutos/lote, mostrando una reducción del 55,56%; ocasionando que la etapa de secado sea el nuevo cuello de botella del proceso con 485 minutos/lote. Asimismo, la producción y productividad de maquinaria aumentó en un 40%. Finalmente, con respecto al beneficio – costo del diseño de mejora se obtuvo un valor de 1,33, demostrando que los beneficios económicos superaron los costos asociados.

Palabras Clave: Producción, productividad, cuello de botella, ProModel

Abstract

The objective of the present investigation was to design the improvement of the production process of the tambourine brick by applying the ProModel software to increase the productivity of the company. As an initial diagnosis, it was evidenced that the firing stage was the bottleneck of the process, with a time of 675 minutes, giving the company a production of 5 batches/week and a machinery productivity of 200 bricks/week per week. machine. This is due to the obsolescence and low capacity of the furnace. Based on this, the replacement of the oven was proposed, for one that works with gas and with a greater capacity. Said proposal was simulated in the ProModel software, where it was obtained as a result that the cooking stage ceased to be the bottleneck of the process, since it is now carried out in 300 minutes/batch, showing a reduction of 55.56%; causing the drying stage to be the new bottleneck of the process with 485 minutes/lot. Likewise, the production and productivity of machinery increased by 40%. Finally, with respect to the benefit - cost of the improvement design, a value of 1.33 was obtained, demonstrating that the economic benefits exceeded the associated costs.

Keywords: Production, productivity, bottleneck, ProModel

Introducción

El sector de construcción es una industria vital que impulsa el crecimiento económico y contribuye al desarrollo de infraestructuras en todo el mundo. En 2021, a nivel mundial, este sector ocasionó US\$10,7 billones y se estima que aumente alrededor de 42% o US\$4,5 billones entre el 2020 y el 2030. [1] En ese mismo año, los principales exportadores de ladrillo pandereta fueron China (\$634M), Bélgica (\$233M), Alemania (\$161M), Países Bajos (\$118M), y Dinamarca (\$65,5M); esto se debe a la gran durabilidad y resistencia que otorgan. [2] Adicionalmente, en Latinoamérica, se estiman más de 42 mil ladrilleras, sin embargo, el 79% de estas empresas presentan problemas en su proceso productivo. Tal es el caso de la ladrillera colombiana Comercializadora Amaya puesto que cuenta con un cuello de botellas de 130 horas/lote en la etapa de cocción y con 721 258 mermas, lo cual representa un 35% del total, ocasionando una disminución en su productividad. [3]

A nivel nacional, la industria ladrillera es uno de los principales motores del crecimiento, aportando 6% del PIB (2019). [4] En el Perú operan más de 65 empresas ladrilleras, pero el 25% de ellas presentan baja productividad. Siendo la ladrillera Tayson SAC, una de ellas. Dicha empresa cuenta con un total de producción de 41 258 lotes/mes y un cuello de botella de 158 horas/lote, trayendo como consecuencia una baja productividad de materia prima puesto que solo es de 425 ladrillos/tonelada, es decir un 38% menos que la competencia. [5]

A nivel regional, la industria ladrillera cumple un papel significativo en el sector de construcción local, puesto que Lambayeque cuenta con condiciones favorables para la producción de ladrillos pandereta. Sin embargo, la industria se enfrenta a grandes desafíos en términos de productividad. Esto se debe a diversos problemas y fallos en el proceso productivo destacando principalmente el uso de máquinas obsoletas, mala distribución de planta y la falta de mano de obra. [6]

Con lo mencionado anteriormente, se presenta el caso de la empresa ladrillera ubicada en la región Lambayeque. Esta empresa fabrica 8 tipos de ladrillos, los cuales se diferencian según sus dimensiones y pesos, destacando el ladrillo pandereta. El problema se origina en que la empresa cuenta con un cuello de botella de 675 minutos por lote en la etapa de cocción y esto se debe a que el horno es obsoleto y solo tiene una capacidad de 250 ladrillos, ocasionando que, en el mes de marzo 2022, la empresa no haya cumplido con su demanda de 7 lotes/semana, puesto que su producción fue de 5 lotes/semana y su productividad de maquinaria sea de 200 ladrillos/semana por máquina. Frente a esta

problemática se plantea la siguiente interrogante **¿En qué medida el diseño de la mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta aplicando el software ProModel en una empresa ladrillera incrementará su productividad?** Como posible solución a esta pregunta, se planteó como objetivo general diseñar la mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta aplicando el software ProModel para incrementar la productividad de la empresa. Por tal motivo, los objetivos específicos que permitirán cumplir con el objetivo general son los siguientes: diagnosticar el proceso productivo y la productividad de la empresa objeto de estudio, elaborar el diseño de la mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta aplicando software ProModel en una empresa ladrillera para incrementar su productividad y determinar el beneficio/costo del diseño de mejora del proceso productivo.

Asimismo, la presente investigación contribuye al conocimiento y avance del sector ladrillero, puesto que el software ProModel facilita la comprensión de los procesos productivos desde una perspectiva científica, ya que permite identificar oportunidades de mejora y disminuir el cuello de botella, lo cual impulsará la productividad de la empresa. Además, los resultados obtenidos servirán como guía y referencia para otras empresas del mismo rubro que enfrenten problemas similares, promoviendo la mejora continua en el sector. Desde la perspectiva social, al incrementar la productividad, se logrará un aumento en la utilidad, lo cual resultará beneficioso tanto para los dueños como para los trabajadores. Además, se espera una disminución en el precio y tiempo de producción, lo que beneficiará a los proveedores y clientes.

Revisión de literatura

El sector ladrillero se caracteriza por su proceso productivo, el cual engloba las etapas y requeridas para la producción de ladrillos. En este contexto, el proceso productivo es el conjunto de actividades requeridas para poder transformar la materia prima en productos. [7] Mientras que la producción hace mención al proceso de transformación de los insumos, en ladrillos terminados. En el entorno empresarial, la productividad y la eficiencia en el proceso productivo son factores clave para el éxito y la competitividad de una empresa. Por ende, la productividad es la relación entre el volumen de salida y el conjunto de insumos empleados [8].

Por tal motivo, para analizar y mejorar el proceso productivo, se emplea el diagrama de análisis del proceso, una herramienta que muestra las etapas, actividades y

permite identificar posibles ineficiencias y oportunidades de mejora para lograr una mayor productividad. [9]

Cabe mencionar que el estudio de tiempos, analiza y mide el tiempo requerido para realizar cada tarea dentro del proceso productivo. Esto ayuda a identificar las actividades que consumen más tiempo y establece los estándares para mejorar la eficiencia. [9] El cuello de botella, por otro lado, es el punto en el proceso donde la capacidad de producción se ve limitada y es esencial para implementar mejoras y aumentar la productividad. [10] Asimismo, con el diagrama de Ishikawa se podrán identificar las posibles causas del problema y su objetivo es comprender las relaciones entre las causas y los efectos, permitiendo abordar las raíces del problema y encontrar soluciones efectivas. [11]

Es por ello que las empresas con tal de mejorar su productividad, optan por el uso de herramientas avanzadas como la simulación, puesto que permite realizar estudios detallados y tomar decisiones informadas para optimizar la producción de ladrillos; [12] siendo el software ProModel el más idóneo para esto ya que permite representar virtualmente el comportamiento del proceso productivo de ladrillos, lo cual facilita la identificación de ineficiencias, evaluación de diferentes escenarios y el análisis del impacto de posibles cambios o mejoras. [13]

En los últimos años, las empresas ladrilleras tienden a presentar problemas en su proceso productivo, lo cual trae como consecuencia la reducción de productividad, por tal motivo, se han venido desarrollando diversas investigaciones sobre el tema; como, por ejemplo, Gálvez [14] en su investigación planteó como objetivo mejorar el proceso productivo de la fabricación de ladrillos para así poder incrementar la productividad de la empresa. Para ello, se realizó el diagnóstico de la empresa y con el diagrama de Ishiwaka se encontró que el problema radicaba en la falta de mano de obra y mala distribución de planta. Asimismo, se hizo un estudio de tiempos, en el cual se obtuvo que el cuello de botella se encontraba en la etapa de cocción, puesto que era de 190 minutos/lote generando que la productividad de la empresa sea de 65%. Por tal motivo, al aumentar la capacidad de la máquina y contratar al personal requerido se obtuvo como resultado que el tiempo en la etapa de cocción sea de 165 minutos/lote, es decir se logró reducir en un 13,16%. En conclusión, después de aplicar dichas mejoras, la empresa logró incrementar su productividad a 83%.

Asimismo, Vigil A. y Quispe J. [15] propusieron como objetivo analizar las causas y consecuencias de las deficiencias en el proceso productivo de la empresa, para así poder incrementar su productividad. Por tal motivo, se realizó el diagnóstico respectivo, en el cual se pudo apreciar que la empresa contaba con 3 máquinas obsoletas (secadora, cortadora y horno), lo cual ocasionaba tiempos muertos y que se produzcan solamente 4572 ladrillos/mes. Por ende, al sustituir las máquinas y aumentar sus capacidades, se obtuvo como resultado que la empresa produzca 6404 ladrillos/mes. En conclusión, al emplear dicha metodología en la empresa se logró optimizar los tiempos del proceso y con ello, el aumento de su producción en un 38,07%.

Por su parte, Fernández, *et al* [16] formularon como objetivo analizar el proceso de producción de ladrillos para incrementar la productividad. Como metodología se empleó el Diagrama de Ishikawa y las 5S. Después de realizar el análisis, se obtuvo como resultado que, el problema se encuentra en la etapa de cocción, puesto que uno de los hornos presenta fallas y debido a ello, el 16,92% de ladrillos están quemados, el 38,46% son ladrillos crudos y el 44,62% son ladrillos fisurados, ocasionando que su productividad de maquinaria sea de 54,32%. Por ende, para poder solucionar esto se planteó capacitar a los operarios, mantenimiento a las máquinas y sustituir el horno por uno automático. En conclusión, con estas propuestas, la empresa ladrillera logró incrementar la productividad de maquinaria en 35,57%.

Por otro lado, Castro K. y González C. [17] plasmaron como objetivo evaluar el comportamiento de la capacidad de la empresa para poder solucionar los problemas en su sistema productivo y así poder mejorar su productividad. Se realizó un diagnóstico a la empresa y se determinó que la producción de la empresa es de 10145 ladrillos/mes. Por ende, como metodología se utilizó la simulación de procesos, mediante el software Flexim. Después de realizar la simulación, se obtuvo como resultado que la empresa presenta una baja productividad de bloques de arcilla, puesto que la productividad de maquinaria es de 43,12%. Esto se debe a la falta de mantenimiento preventivo de las máquinas, lo cual generó que se vuelvan obsoletas. En conclusión, al realizar el mantenimiento preventivo y sustituir el horno, la empresa logró incrementar su productividad de maquinaria en un 37,84%.

A su vez, Magallan, *et al* [18] plantearon como objetivo aplicar el software ProModel en una empresa ladrillera, para así poder incrementar su productividad. Para ello, se realizó balance de línea, estudio de tiempos y la evaluación del proceso productivo

en la aplicación ProModel, en la cual se tuvo como resultado que la empresa cuenta con una mala distribución de planta, lo cual generó que la producción sea de 64%. Por ende, al aplicarlo en ProModel, se evaluaron diversos escenarios en el cual se obtuvo que si se realiza un rediseño de planta la producción aumenta en un 12%. Con ello, se concluye que al aplicar dicha mejora la empresa incrementará su productividad en un 13%.

De igual manera Simón I. y Medina J. [19] formularon como objetivo realizar una simulación empleando el software ProModel para así poder incrementar la productividad de la empresa. Para ello, se realizó balance de línea, estudio de tiempos y evaluación del diseño alternativo utilizando el modelo de simulación ProModel, con lo cual se obtuvo como resultado que la empresa cuenta con una mala distribución de planta, puesto que cuenta con 12 minutos de tiempo muerto, ocasionando que la producción sea de 65,24%. Por ende, al simular la nueva distribución de planta en el software ProModel, se eliminaron los tiempos muertos, obteniendo como resultado un aumento en la producción de 17,58%. En conclusión, se lograron eliminar los tiempos de espera y los cuellos de botella con el fin de incrementar la productividad de ladrillos.

Por consiguiente, Hurtado A. y Villamil D. [20] plasmaron como objetivo analizar las áreas de producción para así poder comparar tanto las capacidades reales como teóricas de la empresa. Para ello, realizaron la simulación en el software ProModel y como resultado se obtuvo que la empresa tiene una productividad de maquinaria de 71,43%, puesto que la máquina cortadora no ha recibido ningún mantenimiento, lo cual generó que aumente su tiempo de operación. Por lo cual, se propuso reemplazar dicha máquina por una máquina cortadora semiautomatizada, ocasionando que la empresa aumente la productividad de maquinaria en un 25,13%.

Para tal motivo, Suhardini, *et al* [21] propusieron como objetivo rediseñar la distribución de planta de la empresa para así poder aumentar su productividad. Para ello, realizaron un análisis de la empresa, en el cual se determinó que la distribución de las máquinas no es la correcta, puesto que producen 8 461 ladrillos/mes. Por ende, al aplicar el rediseño en el software ProModel se obtuvo como resultados que la producción aumente en 3372 unidades/mes con un beneficio-costos de la propuesta de 1,25. En síntesis, al aplicar el rediseño de planta con el software de ProModel, la empresa logró incrementar su producción en un 25,45%.

De la misma manera, Hoyos [22] planteó como objetivo diseñar un modelo de simulación en ProModel proceso de ladrillos para aumentar su productividad. Para ello, se realizó el diagnóstico de la empresa y la simulación de la situación actual obteniendo como resultado que la empresa cuenta con una demanda insatisfecha y una productividad de 62%. Esto se debe a la insuficiente mano de obra. Por ello, al simularlo en ProModel, se aumentó la capacidad de las máquinas y se obtuvo como resultado que la empresa producirá 16 100 ladrillos/mes. Es decir, se concluye que aumentar la capacidad del horno, la empresa logrará incrementar su productividad en un 24%. Asimismo, se realizó el beneficio-coto de la propuesta y se obtuvo un valor de 1,19.

Para concluir, Pineda A. y Torres I. [23], plasmaron como objetivo realizar una mejora del proceso de fabricación de ladrillos para incrementar su productividad. Para ello, analizó el proceso de fabricación y se empleó el diagrama de Ishikawa, en el cual se determinó que la empresa cuenta con un cuello de botella de 890 min/lote en la etapa de cocción y esto se debe a que el horno es obsoleto, ocasionando que su productividad sea de 62,41%. Por ende, al simular el proceso en el software ProModel, se sustituyó el horno por uno automatizado y de mayor capacidad. Por ende, se obtuvo como resultado que la empresa produzca 21475 unidades/mes, es decir aumentó su producción en un 17,39% y logró que cuello de botella disminuya en un 38,51%. Es por ello, que se concluye que al aplicar la mejora la empresa logró incrementar su producción mensual de bloques de ladrillos, aumentando su productividad en un 16%.

Materiales y métodos

Con finalidad de solucionar la problemática planteada, se llevó a cabo el primer objetivo específico. Para ello, se realizó un análisis del proceso productivo de la empresa y mediante el diagrama de Ishikawa se identificaron las causas de la baja productividad. [11] Seguido a ello, se realizó la clasificación ABC [24] y el Diagrama de Análisis de Procesos (DAP) [9], en el cual, se describieron todas las actividades con sus respectivos tiempos promedios y así se logró identificar el cuello de botella. Luego, con los datos obtenidos, se calcularon los indicadores actuales de producción y de productividad. Adicional a ello, se simuló la situación inicial en el software ProModel [13]

Para el segundo objetivo específico, se tomó en cuenta lo hallado en el primer objetivo. Con base a ello, se realizó el diseño de la mejora en el software ProModel [13], el cual se basó en reemplazar el horno por uno que funcione a gas y tenga mayor

capacidad. Seguido a ello, se analizaron los resultados obtenidos y se hallaron los nuevos indicadores (cuello de botella, producción y productividad de maquinaria).

Con respecto al tercer y último objetivo específico, se determinó el beneficio-costos [27] de la mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta., teniendo en cuenta los beneficios y costos que requiere el diseño de la mejora.

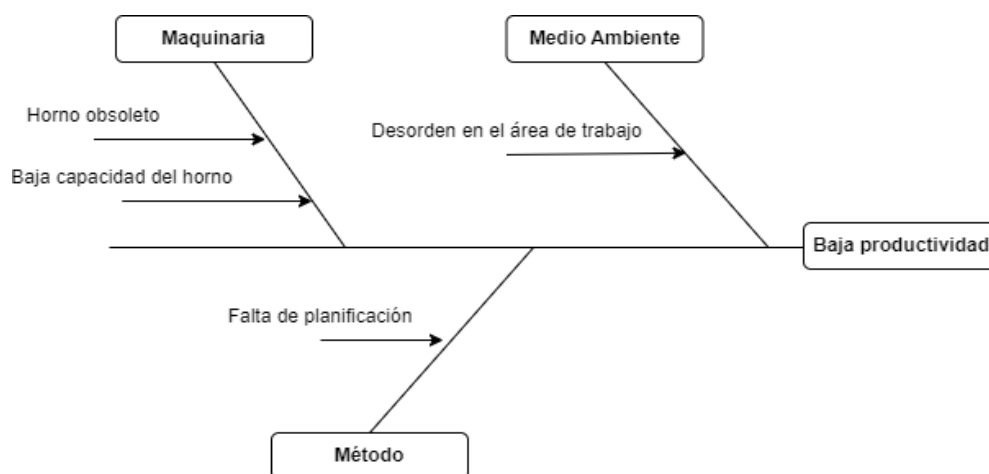
Resultados y discusión

Resultados

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

En la Figura 1 se presenta el diagrama de Ishikawa, donde se evidencian las causas de la baja productividad en la empresa ladrillera.

Figura 1. Diagrama de Ishikawa



Fuente: Empresa ladrillera

Con base en ello, en la Tabla 1 se realizó la clasificación ABC, para identificar las causas con un mayor impacto en la baja productividad.

Tabla 1. Principales causas de la baja productividad en la empresa embotelladora

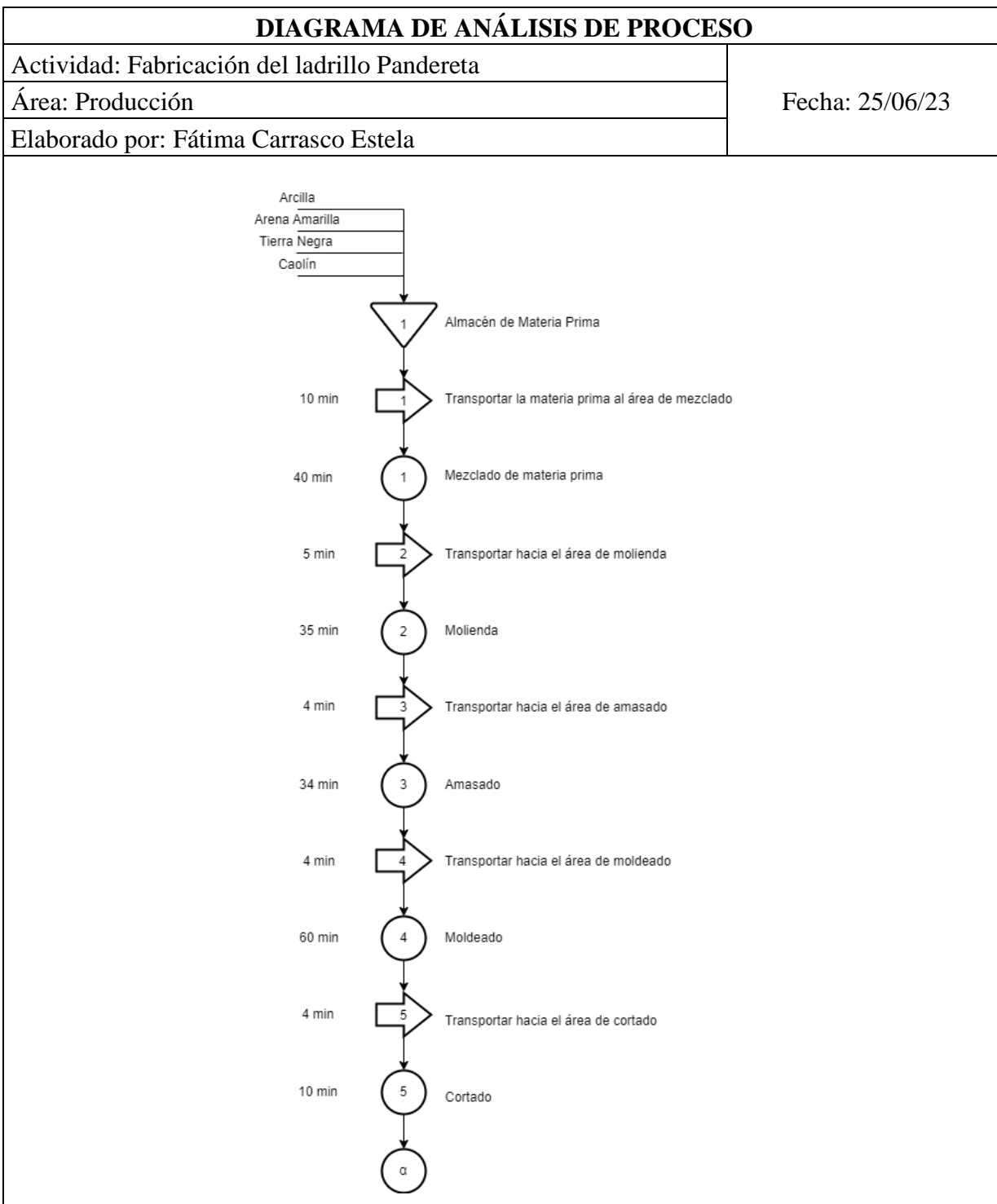
N°	Descripción de la causa	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Clasificación
1	Horno obsoleto	6	35%	35%	A
2	Baja capacidad del horno	6	35%	71%	
3	Falta de planificación	4	24%	94%	B
4	Desorden en el área de trabajo	1	6%	100%	C
		17	100%		

Fuente: Empresa ladrillera

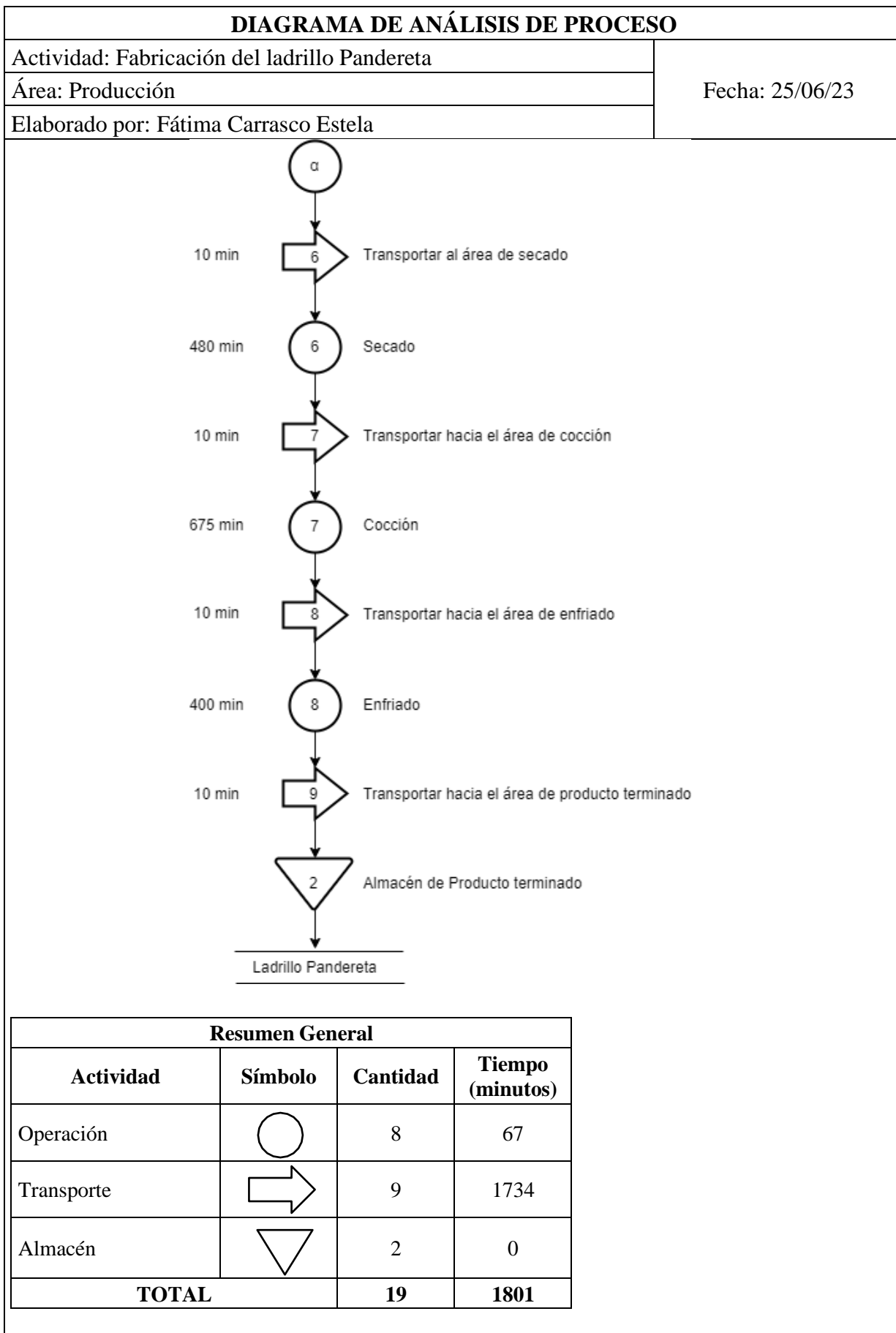
Por tal motivo, se concluye que las principales causas de la baja productividad son el horno obsoleto y la baja capacidad del horno. Por ende, mediante las mejoras se dará solución a estas 2 causas y así se logrará disminuir la baja productividad.

Por otro lado, para un mayor detalle del proceso, se presenta el Diagrama de Análisis de Operaciones (DAP) del proceso productivo.

Tabla 2. Diagrama de análisis de proceso



Fuente: Empresa ladrillera



Fuente: Empresa ladrillera

Como se observa, para elaborar un lote de 200 ladrillos pandereta, se tiene un tiempo total de 1801 min; donde se aprecia que la etapa que más demora es la de cocción con 675 min; siendo esta etapa el cuello de botella para poder obtener el lote correspondiente. Por ende, se calculó la producción semanal teniendo en cuenta que se trabaja 6 días a la semana por 10 horas con 30 minutos, de los cuales 30 minutos tienen los trabajadores de break.

Cálculo del tiempo base:

$$\text{Tiempo base} = 10 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \times 6 \frac{\text{días}}{\text{semana}} = 3600 \frac{\text{minutos}}{\text{semana}}$$

Cálculo de la producción:

$$\text{Producción} = \frac{\text{tiempo base}}{\text{cuello de botella}} = \frac{3600 \frac{\text{min}}{\text{semana}}}{675 \frac{\text{min}}{\text{lote}}} = 5,33 \frac{\text{lotes}}{\text{semana}}$$

$$\text{Producción} \approx 5 \text{ lotes/semana}$$

Cálculo de la productividad de la maquinaria:

$$\text{Productividad de maquinaria} = \frac{5 \frac{\text{lotes}}{\text{semana}} \times 200 \frac{\text{ladrillos}}{\text{lote}}}{5 \text{ máquinas}}$$

$$\text{Productividad de maquinaria} = 200 \frac{\text{ladrillos a la semana}}{\text{máquina}}$$

Después de haber realizado el cálculo de indicadores, se simuló el proceso actual en el software ProModel, para así poder verificar la similitud de la producción arrojada por el software.

Para ello, se toma como referencia el proceso productivo actual del ladrillo pandereta del mes de marzo del año 2023, específicamente de la semana del 6 al 12; obteniendo los siguientes resultados:

Figura 2. Simulación del Proceso Productivo del ladrillo Pandereta



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Arribos

Entidad...	Locación...	Cant. por Arribo...	Primera Vez...	Ocurrencias	Frecuencia
Materia_prima	Almacén_de_MP	14700	0	inf	E(11520)min

Fuente: ProModel

En la figura 3 se aprecia que arriban 14700 kilos de materia prima cada 11 520 min. La cual está conformada por tierra negra (30%), arcilla (20%), caolín (15%) y tierra amarilla (35%).







Figura 4. Locaciones

Icono	Nombre	Cap.	Unidades
	Almacén_de_MP	14700	1
	Mezclado	1	1
	Molienda	1	1
	Amasado	1	1
	Moldeado	1	1
	Cortado	1	1
	Secado	500	1
	Cocción	250	1
	Enfriado	600	1
	Almacén_de_PT	10000	1
	Banda_transportadora_1	INFINITE	1
	Banda_transportadora_2	INFINITE	1
	Banda_transportadora_3	INFINITE	1

Fuente: ProModel

Como se puede apreciar, en la figura 4, la locación de “almacén de materia prima” es de 14 700 kilos de materia prima, puesto que eso es lo que va a recibir a la semana. La locación de “secado” tiene una capacidad de 500 ladrillos, la de “cocción” es de 250, la de enfriado es de 600 y la de “almacén de producto terminado” es de 10 000 ladrillos.

Figura 5. Entidades

Icono	Nombre	Velocidad (Ppm)
	Materia_prima	150
	MP_mezclada	150
	MP_moldeado	150
	Ladrillo_cortado	150
	Ladrillo	150
	Lote_de_ladrillos	150

Fuente: ProModel

Para este proceso se han considerado 6 entidades, las cuales son: materia prima, mezcla, materia prima moldeada, ladrillo cortado, ladrillo y lote de ladrillos.

Como ya se mencionó anteriormente, para el proceso se empleó la herramienta statfit, en el cual se seleccionó el que tuvo la mejor distribución (rank más cercano a 100). En el anexo 1, se pueden apreciar los valores obtenidos.

Después de simular las 10 horas con 30 minutos (30 minutos de break) se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 6. Resumen de variables

Nombre	Total Cambios
Kilos de materia prima que ingresa	14,700.00
Lote de ladrillos terminados	5.00
Ladrillos	1,076.00

Nombre	Total Salidas	Cantidad actual En Sistema
Materia prima	0.00	14,677.00
MP mezclada	0.00	11.00
MP moldeado	0.00	4.00
Ladrillo cortado	0.00	674.00
Ladrillo	1,000.00	76.00
Lote de ladrillos	5.00	0.00

Fuente: ProModel

En la figura 6 se aprecia que con los 14 700 kilos de materia prima que ingresaron al sistema, se obtuvieron 1076 ladrillos, de los cuales 76 se quedaron en el sistema, puesto que se agruparon en 5 lotes de 200 ladrillos cada uno. Siendo este valor igual al que se obtuvo en el cálculo con el DAP.

Resumen de indicadores

Con base en el diagnóstico de la situación del proceso ladrillero, se presenta el resumen de los indicadores.

Tabla 3. Resumen de indicadores

Indicador	Valor
Producción	5 lotes/semana
Cuello de botella - etapa de cocción	675 minutos/lote
Productividad de maquinaria	200 ladrillos/semana por máquina

Fuente: Empresa ladrillera

Diseño de la mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta

En el diagnóstico inicial se observó que las principales causas de la baja productividad son: C1 (horno obsoleto) y C2 (baja capacidad del horno). Asimismo, en el DAP, se apreció que el cuello de botella se encuentra en la etapa de cocción con un tiempo de 675 minutos/lote.

Por lo cual, como propuesta de mejora se plantea sustituir el horno, el cual solo tiene una capacidad de 250 ladrillos y demora 675 minutos en hornearlos, por un horno que funciona a gas, con una capacidad de 300 ladrillos y que realiza el horneado en 300 minutos. Cabe mencionar, que se eligió este modelo teniendo en cuenta su capacidad y velocidad, puesto que la idea es minimizar los costos y a la empresa no le conviene adquirir un horno de mayor capacidad. Por lo cual, se propone el horno túnel TK, cuya ficha técnica se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Ficha técnica del horno túnel TK

Horno



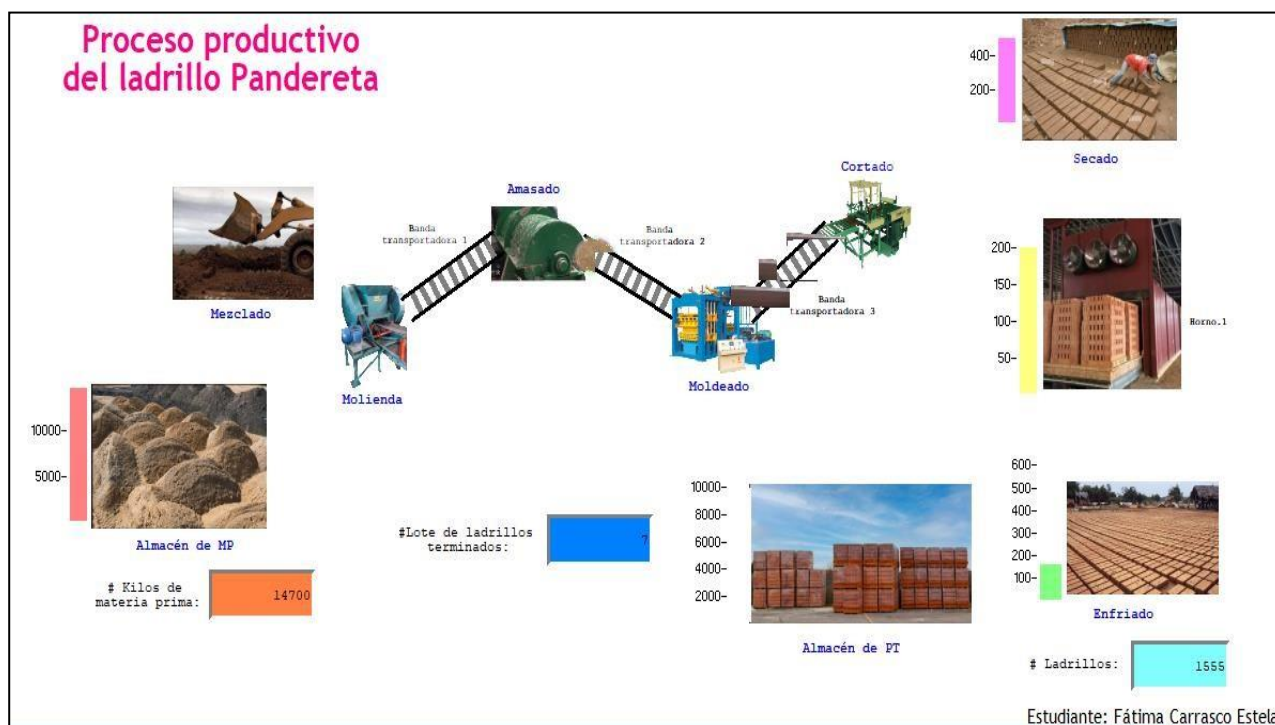
Modelo	Túnel TK
Capacidad	300 ladrillos
diaria	(9cmx13cmx24cm)
Velocidad	5 horas por 300 ladrillos
Tamaño	4m x 2,5m x 5m

Fuente: [28]

Como se aprecia en la ficha técnica del horno tunel TK, la máquina tiene una capacidad de 300 ladrillos de 9cmx13cmx24cm. Por lo cual, la empresa en estudio sí puede emplear esta máquina ya que los ladrillos que elaboran contienen esas medidas. Además, se observa que para hornear los ladrillos emplea un tiempo de 5 horas. Teniendo como premisa estos datos, se empleó la herramienta statfit para obtener su distribución, la cual fue $N(317,17.1)$ min.

Entonces, habiendo hallado la distribución de la etapa de cocción, se procedió a elaborar el nuevo diseño, teniendo en cuenta que la principal diferencia con la simulación inicial es que se cambió el horno por uno a gas y con mayor capacidad. Cabe mencionar, que los demás datos como por ejemplo la cantidad y tiempos de arribo se mantuvieron iguales para poder realizar una comparación con los resultados obtenidos.

Figura 7. Simulación de la mejora



Fuente: ProModel

Figura 8. Locaciones

Icono	Nombre	Cap.	Unidades
	Almacén de MP	14700	1
	Mezclado	1	1
	Molienda	1	1
	Amasado	1	1
	Moldeado	1	1
	Cortado	1	1
	Secado	500	1
	Enfriado	600	1
	Almacén de PT	10000	1
	Banda transportadora 1	INFINITE	1
	Banda transportadora 2	INFINITE	1
	Banda transportadora 3	INFINITE	1
	Horno	300	1

Fuente: ProModel

En la figura 8 se aprecia que se ha agregado el modelo de horno túnel TK con una capacidad de 300 ladrillos.

Figura 9. Resumen de variables

Nombre	Total Cambios	Nombre	Total Salidas	Cantidad actual En Sistema
Kilos de materia prima que ingresa	14,700.00	Materia prima	0.00	14,674.00
Lote de ladrillos terminados	7.00	MP mezclada	0.00	11.00
Ladrillos	1,555.00	MP moldeado	0.00	4.00
		Ladrillo cortado	0.00	800.00
		Ladrillo	1,400.00	155.00
		Lote de ladrillos	7.00	0.00

Fuente: ProModel

Teniendo como base la situación inicial, se simuló por 10 horas con 30 minutos y como se observa en la figura 9, con los 14 700 kilos de materia prima que ingresaron al sistema, se obtuvieron 1 555 ladrillos en el sistema, de los cuales, 1400 salieron agrupados en 7 lotes de 200 ladrillos cada uno, evidenciando un aumento en la producción, ya que en la situación inicial se produjeron solamente 5 lotes.

Producción con la mejora:

Cálculo de la producción con la mejora:

$$\text{Producción} = 7 \frac{\text{lotes}}{\text{semana}}$$

Productividad de la maquinaria con la mejora:

Como se sabe, en la situación inicial se contaba con 5 máquinas (mezcladora, amasadora, cortadora, moldeadora y horno). Sin embargo, se sustituyó el horno, por otro que funcione a gas con mayor capacidad, para optimizar los tiempos. Por lo cual, se calculó la nueva productividad de maquinaria teniendo en cuenta el aumento de la producción.

Cálculo de la productividad de la maquinaria con la mejora:

$$\text{Productividad de maquinaria} = 7 \frac{\text{lotes}}{\text{semana}} \times 200 \frac{\text{ladrillos}}{\text{lote}} \\ 5 \text{ máquinas}$$

$$\text{Productividad de maquinaria} = 280 \frac{\text{ladrillos a la semana}}{\text{máquina}}$$

Cuadro comparativo de indicadores

Tabla 5. Cuadro comparativo de indicadores

Indicador	Simulación inicial	Simulación con la mejora	Variación porcentual
Producción	5 lotes/semana	7 lotes/semana	40%
Cuello de botella - etapa de cocción	675 minutos/lote	300 minutos/lote	55,56%
Productividad de maquinaria	200 ladrillos/semana por máquina	280 ladrillos/semana por máquina	40%

Fuente: Elaboración propia

Para la mejora, se tuvo como referencia los 14 700 kilos de materia prima que ingresan al sistema, con los cuales se produjeron 1 076 ladrillos/semana y se agruparon en 5 lotes de 200 ladrillos cada uno, quedando 76 en el sistema. En la tabla 5, se aprecia que con mejora realizada en el software ProModel se producen 1 555 ladrillos/semana, los cuales se han agrupado en 7 lotes de 200 ladrillos cada uno/semana, quedando 155 en el sistema; evidenciando un incremento del 40% en su producción.

Con respecto a la productividad de la maquinaria, en la situación inicial se obtuvo una productividad de maquinaria de 200 ladrillos/semana por máquina y con la mejora, mediante el software ProModel, se logró una productividad de maquinaria de 280 ladrillos a la semana por máquina, evidenciando un aumento del 40%.

Relación beneficio – costo del diseño de la mejora del proceso productivo del ladrillo

Para determinar la relación beneficio - costo, se observó que en la situación inicial se produjeron 5 lotes/semana y con la mejora realizada en el software ProModel se espera producir 7 lotes/semana. Con base en ello, se obtuvo un aumento de 2 lotes a la semana. Entonces, se establece que cada mes se producen 8 lotes adicionales, cada uno de 200 ladrillos. Asimismo, el precio por lote de ladrillos pandereta es de S/ 230.

Por otra parte, en lo que respecta a los egresos, se consideró el costo del horno a gas; y el costo de producción por lote, cuyo monto fue S/ 80. Además, se consideró un porcentaje de imprevistos del 5%. A su vez, cabe mencionar que se espera una TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento) del 14%, y con base en ello, en la tabla 6, se puede apreciar el cálculo del indicador beneficio – costo.

Tabla 6. Flujo de caja económico

Ítems	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
<u>INGRESOS</u>													
Lotes		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Precio por lote		S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00	S/ 230,00
TOTAL DE INGRESOS		S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00	S/ 1 840,00
<u>EGRESOS</u>													
Horno a gas	S/ 7 000,00												
Costos de producción por lote		S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00
Imprevistos (5%)	S/ 350,00												
TOTAL EGRESOS	S/ 7 350,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00	S/ 80,00
FLUJO DE FONDOS	-S/ 7 350,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00	S/ 1 760,00

TMAR	14%
------	-----

Indicador	Resultado	Análisis
B/C	1,33	Sí es viable, porque B/C > 1.05

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 6, la mejora de proceso productivo de ladrillos pandereta tiene un beneficio-costo de 1,33; siendo viable ya que este valor es superior a 1,05

Discusión

Al momento de realizar el diagnóstico en la empresa objeto de estudio se observó que el cuello de botella era la etapa de cocción con 675 minutos/lote y con la mejora, el cuello de botella pasó a ser de 300 minutos/lote, mostrando una disminución del 55,56%. Para ello, se tiene como referencia que en [14], el autor mencionó que el cuello de botella era de 190 minutos/lote y con la mejora se redujo en un 13,16% y en [23] se redujo en un 38,51%. Como se puede apreciar, en ambas investigaciones se observa una disminución del cuello de botella en menor porcentaje que el hallado en la empresa en estudio, demostrando así que el diseño de la mejora resultó ser más factible.

Con respecto a la producción, se evidenció un incremento del 40%, mientras que en [15] se observó un aumento del 38,07%, el cual es un valor muy cercano al encontrado en la empresa de estudio, puesto que la investigación también propuso sustituir las máquinas por otras de mayor capacidad. Asimismo, en [18] y [19] los autores mencionan que, al aplicar rediseño de planta, la producción aumentó en un 12% y 17,58% respectivamente. Por lo que al compararlo con los valores obtenidos en la empresa objeto de estudio son más factible, concluyendo que la propuesta de mejora de rediseño, no genera gran impacto en la producción.

Por otro lado, en la empresa en estudio se observó que la productividad de maquinaria aumentó en un 40%; mientras que, en [16] su productividad de maquinaria aumentó en un 35,57%. Las propuestas planteadas por el autor fueron capacitar a los operarios y sustituir el horno por uno automatizado. En, [17] la productividad de maquinaria aumentó en un 37,84%, puesto que el autor, mediante el uso del software Flexim, planteó como mejora realizar mantenimiento preventivo a las máquinas y sustituir el horno por otro de mayor capacidad. Asimismo, [20] indica que la productividad de maquinaria se incrementó en un 25,13% y las propuestas empleadas por el autor fueron sustituir la máquina cortadora por una máquina cortadora semiautomatizada. Como se observa, todas las investigaciones anteriormente expuestas evidenciaron un incremento de la productividad inferior al obtenido en la empresa en estudio concluyendo que el diseño de la mejora resultó más factible.

Finalmente, con respecto al beneficio – costo del diseño de la mejora; en la empresa en estudio se obtuvo un valor de 1,33; mientras que al realizar el beneficio-costo en [21] se obtuvo un valor de 1,25 y en [22] un valor de 1,18. Con ello, se aprecia que

ambos valores son inferiores al hallado en la empresa en estudio, demostrando así que la propuesta tuvo mayores beneficios que costos.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se diseñó la mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta aplicando el software ProModel, el cual permitió reducir el cuello de botella de 675 minutos/lote a 300 minutos/lote e incrementar tanto la producción como la productividad de maquinaria en un 40%. Evidenciando de esta manera la importancia del software ProModel al simular mejoras en el proceso productivo. Además, su implicancia proporcionó a la empresa ladrillera una estrategia concreta para afrontar los desafíos de baja productividad.

Se diagnosticó el proceso productivo y la productividad de la empresa objeto de estudio, donde se observó que los principales problemas de la baja productividad era la obsolescencia y baja capacidad del horno. Seguido a ello, se determinó que el cuello de botella se encontraba en la etapa de cocción con un tiempo de 675 minutos. Además, se observó una producción de 5 lotes/semana y una productividad de maquinaria de 200 ladrillos/semana por máquina, lo cual resultaba insuficiente para satisfacer la demanda semanal de 7 lotes. Por lo cual, el diagnóstico resaltó la importancia de realizar una evaluación minuciosa de la productividad como punto de partida antes de proponer el diseño de la mejora.

Se elaboró el diseño de mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta, aplicando el software ProModel, enfocado en el reemplazo del horno existente por uno de mayor capacidad que funciona a gas. Esta mejora permitió la reducción del cuello de botella en un 55,56% y el incremento del 40% tanto en la producción como en la productividad de maquinaria. Es importante mencionar que la simulación realizada proporcionó datos cuantitativos lo más cercanos a la realidad, brindando un enfoque práctico y aplicable que puede ser implementado de manera efectiva en la empresa ladrillera.

Finalmente, se determinó el beneficio-costo del diseño de mejora del proceso productivo, el cual dio un valor de 1,33. Esta cifra respalda la propuesta de mejora, ya que demuestra que los beneficios económicos generados superan los costos asociados.

Recomendaciones

Después de realizar la mejora del proceso productivo del ladrillo pandereta, se pudo observar que ahora la etapa de secado es el nuevo cuello de botella, con un tiempo de 480 minutos/lote. Para ello, se recomienda buscar una solución que disminuya este tiempo, el cual puede ser implementar una máquina semiautomática.

Referencias bibliográficas

- [1] V. Lozano, «EL PERUANO,» 3 enero 2022. [En línea]. Available: <https://elperuano.pe/noticia/136637-construccion-el-gran-motor-de-la-recuperacion-economica-mundial>. [Último acceso: 12 mayo 2023].
- [2] Datawheel, «OEC,» 12 agosto 2021. [En línea]. Available: [https://oec.world/es/profile/hs/ceramic-bricks#:~:text=En%202021%2C%20los%20principales%20exportadores,Dinamara%20\(%2465%2C5M\)..](https://oec.world/es/profile/hs/ceramic-bricks#:~:text=En%202021%2C%20los%20principales%20exportadores,Dinamara%20(%2465%2C5M)..) [Último acceso: 15 mayo 2023].
- [3] «Análisis estratégico del proceso productivo de ladrillos,» *Redalyc*, vol. VIII, nº 1, pp. 135-156, 2020.
- [4] CEMEX, «LA CONSTRUCCIÓN EN PERÚ: INDUSTRIA SEGURA Y ESENCIAL,» abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.cemex.com.pe/documents/46808606/49746377/cemex-peru-postura-construccion-industria-segura-y-esencial.pdf/bf517ad7-cc70-710c-2536-b1bcd52b42d8>. [Último acceso: 15 mayo 2023].
- [5] M. Guerrero, «Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo,» 2020. [En línea]. [Último acceso: 20 junio 2023].
- [6] I. Coronado, «Modelo de costos para mejorar la rentabilidad de las mypes de la industria ladrillera de Lambayeque,» *TZHOECOEN*, vol. XI, nº 3, pp. 87-102, 2019.
- [7] A. Montoya, «Universidad de Alicante,» 2018. [En línea]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19047/1/Tema_4_-_Proceso_de_produccion.pdf. [Último acceso: 17 mayo 2023].
- [8] C. Pagés, *La Era de la Productividad como transformar las economías desde sus cimientos*, Washington D.C: Pórtico Bookstore, 2019.
- [9] J. Romero, *Ingeniería de métodos*, Huancayo: Fondo Editorial, 2018.
- [10] A. Gamarra y J. Jimenez, «Universidad Industrial de Santander,» 2020. [En línea]. Available: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/143199.pdf>. [Último acceso: 15 junio 2023].
- [11] A. Saeger, *El diagrama de Ishikawa*, Titivillus, 2020.

- [12] G. Ramirez, «Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica,» *Trascender*, vol. VII, n° 20, pp. 189-208, 2022.
- [13] P. Corporation, «ProModel,» [En línea]. Available: <http://promodel.com.mx/promodel/>. [Último acceso: 16 mayo 2023].
- [14] R. Galvez, «Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo,» 2019. [En línea]. Available: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2042/1/TL_GalvezCheroRomina.pdf. [Último acceso: 10 mayo 2023].
- [15] A. Vigil y Q. Josué, «Universidad Tecnológica del Perú,» 2021. [En línea]. Available: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/5022/A.Vigil_J.Quispe_Tesis_Titulo_Profesional_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 15 mayo 2023].
- [16] D. Fernandes, D. Barbosa, P. Tregue, C. Tavares y C. Oliveira, «Optimization of the Production Process of Sealing Bricks in a Ceramic Factory in Urucurituba City in Amazonas – Brazil,» *International Journal for Innovation Education and Research*, vol. VII, n° 10, pp. 38-55, 2019.
- [17] K. Castro y C. Gonzalez, 2018. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/111413738-Simulacion-de-modelos-discretos-para-el-proceso-de-elaboracion-de-bloques-de-arcilla-de-la-empresa-tejar-arcillas-zuligres-s-a-s.html>. [Último acceso: 10 mayo 2023].
- [18] A. Magallan, L. Perez, S. Karla y D. Luviano, 2019. [En línea]. Available: <http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/18958/Simulaci%C3%B3n%20de%20blanco%20de%20lineas%20con%20Promodel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 15 mayo 2023].
- [19] I. Simón y J. Medina, «PROMODEL: UNA HERRAMIENTA ALTERNATIVA AL EVALUAR EL RENDIMIENTO DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL,» *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, vol. V, n° 10, pp. 232-250, 2019.
- [20] D. Villamil y A. Hurtado, «Proceso de fabricación de ladrillos, simulado en ProModel,» *Revista Colombiana de Tecnología Avanzada*, vol. III, n° 20, pp. 32-54, 2020.

- [21] D. Suhardini, S. W. y F. S., «Design and Simulation Plant Layout Using Systematic Layout Planning,» *IOPScience*, vol. CCLXXVII, n° 3, pp. 52-61, 2018.
- [22] L. Hoyos, «Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo,» 2021. [En línea]. Available: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4524/1/TIB_HoyosAguilarLuis.pdf. [Último acceso: 15 mayo 2023].
- [23] A. Pineda y I. Torres, «UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA,» 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/2197/Pineda-Almaraza-Torres-Merino.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 12 mayo 2023].
- [24] C. Paulla, «Gestión de inventarios a través de la clasificación ABC,» 15 setiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.netlogistik.com/es/blog/que-es-un-inventario-abc-ventajas-desventajas-y-ejemplos#:~:text=El%20inventario%20ABC%20se%20basa,restante%20como%20productos%20Clase%20C..> [Último acceso: 14 junio 2023].
- [25] E. García Dunna, H. García Reyes y L. Cárdenas Barrón, *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*, México: Pearson, 2018.
- [26] M. J. Romero, «Guía de laboratorio Ingeniería de métodos,» abril 2019. [En línea]. Available: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/3344/4/DO_FIN_108_GL_A0244_2018.pdf. [Último acceso: 22 junio 2023].
- [27] J. A. Acosta Villa y M. P. de la LLave, *Ingeniería económica*, México: Red IBAI, 2021.
- [28] «China Baoshen,» [En línea]. Available: <https://www.china-baoshen.com/es/product/tk-tunnel-kiln/>. [Último acceso: julio 10 2023].

Anexos

Anexo 1. Distribución de los tiempos de cada etapa

Etapa	Distribución
Transporte	N(11,1.95)min
Mezclado	N(42.7,2.72)min
Transporte	N(5.5,1.36)min
Molienda	N(32.2,1.78)min
Banda transportadora 1	E(4)min
Amasado	N(29.9,2.98)min
Banda transportadora 2	E(4)min
Moldeado	N(60.3,5)min
Banda transportadora 3	E(4)min
Cortado	N(11.6,1.56)min
Transporte	N(11,1.95)min
Secado	U(468,19.6)min
Transporte	N(11,1.95)min
Cocción	N(631,25.3)min
Transporte	N(11,1.95)min
Enfriado	N(432,25.1)min
Transporte	N(11,1.95)min

Fuente: Statfit