

# Propuesta de un modelo matemático para la optimización de la producción. Una aplicación en la industria ladrillera de San José Cúcuta

Proposal of a mathematical model for production optimization. An application in the brick industry of San Jose of Cucuta

**Recibido:** 26 de agosto de 2022

**Aprobado:** 4 de diciembre de 2022

**Forma de citar:** J.A. Silva Manchego, W.P. Alvarado, A.J. Caicedo Rolón "Propuesta de un modelo matemático para la optimización de la producción. Una aplicación en la industria ladrillera de San José Cúcuta", *Mundo Fesc*, vol 13, no. 25, pp. 172-190 de 2022

**Jorge Andrés Silva Manchego\*** 

Tecnólogo en Procesos Industriales  
jorgeandressm@ufps.edu.co  
Universidad Francisco de Paula Santander  
Cúcuta, Colombia.

**Wlamyr Palacios Alvarado** 

Doctor en Ciencias Gerenciales  
wlamyrpalacios@ufps.edu.co  
Universidad Francisco de Paula Santander  
Cúcuta, Colombia.

**Álvaro Junior Caicedo Rolón** 

Doctor en Ingeniería  
alvarojuniorcr@ufps.edu.co  
Universidad Francisco de Paula Santander  
Cúcuta, Colombia.

**\*Autor para correspondencia:**  
jorgeandressm@ufps.edu.co



# Propuesta de un modelo matemático para la optimización de la producción. Una aplicación en la industria ladrillera de San José Cúcuta

**Palabras clave:** Producción, Programación Lineal, Modelo matemático, Análisis de Sensibilidad, Optimización.

## Resumen

El sector cerámico del Norte Santandereano busca satisfacer la creciente demanda de productos de construcción a base de arcilla, para esto se considera el uso de la programación lineal que sirve como apoyo para mejorar la eficiencia operativa en la fabricación de sus productos, encontrando soluciones óptimas en los problemas de planificación.

Para lograr una producción óptima, se utilizó un modelo matemático de la programación lineal como herramienta clave de optimización. El proceso se inicia con un diagnóstico que implica la observación directa y la recolección de datos a través de herramientas ofimáticas. Posteriormente, se desarrolla un modelo matemático basado en datos reales para evaluar el desempeño del proceso, utilizando indicadores de productividad. Los parámetros del proceso se ajustan para lograr una satisfacción ideal. Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad en varios escenarios para determinar el mejor enfoque de optimización y la aplicación de estos resultados se modelan bajo un simulador de licencia académica FlexSim que nos brinda la oportunidad de adoptar un enfoque global orientado a la mejora, como a la eficiencia en cuanto a la capacidad para satisfacer las necesidades en el sector cerámico.

Se logró encontrar un modelo ideal para satisfacer la demanda de la empresa objeto de estudio y posterior a eso se consideró la formulación de un modelo óptimo aprovechando la explotación máxima de una restricción de capacidad y aumentando los recursos de la demanda propuesta por el mercado actual. Se considera que el modelo óptimo le servirá a la empresa como referencia del alcance para conocer que demanda puede lograr explotando su capacidad máxima, sin emplear sobrecostos como emplear nueva maquinaria en línea de producción o adquirir más personal para satisfacer el crecimiento de la demanda.

# **Proposal of a mathematical model for production optimization. An application in the brick industry of San Jose of Cucuta**

## **Abstract**

The ceramic sector of Northern Santander seeks to satisfy the growing demand for clay-based construction products. For this, the use of linear programming is considered, which serves as support to improve operational efficiency in the manufacturing of its products, finding optimal solutions in planning problems. To achieve optimal production, a linear programming mathematical model was used as a key optimization tool. The process begins with a diagnosis that involves direct observation and data collection through office tools. Subsequently, a mathematical model is developed based on real data to evaluate the performance of the process, using productivity indicators. Process parameters are adjusted to achieve ideal satisfaction. Finally, a sensitivity analysis is performed in several scenarios to determine the best optimization approach and the application of these results are modeled under a FlexSim academic license simulator that gives us the opportunity to adopt a global approach oriented towards improvement, as a efficiency in terms of the ability to satisfy the needs in the ceramic sector. It was possible to find an ideal model to satisfy the demand of the company under study and after that the formulation of an optimal model was considered, taking advantage of the maximum exploitation of a capacity restriction and increasing the resources of the maximum exploitation of a capacity restriction and increasing the resource of the demand proposed by the current market. It is considered that the optimal model will serve as a scope reference for the company to know what demand it can achieve by exploiting its maximum capacity, without using cost overruns such as using new machinery on the production line or acquiring more personnel to satisfy the growth in demand.

**Keywords:** Production, Linear programming, Mathematical model, Sensitivity Analysis, Optimization.

## Introducción

En la región Norte Santandereana las pequeñas y medianas empresas (pymes) en el sector industrial contribuyen en un 29% de la producción y del 42% del empleo, lo que resalta la relevancia crucial de este sector para la economía local. Por consiguiente, es importante fortalecer las micro, pequeñas y medianas empresas (mypimes) dedicadas a la industria cerámica, este fortalecimiento se lograría a través de la preservación de la identidad de la cultura regional y el fomento del desarrollo económico a nivel local, con el objetivo final de consolidar la presencia sostenible de estas mypimes en la economía global, introduciéndolas en el contexto de la globalización [1].

La planificación efectiva de un proceso implica tener una comprensión clara de las capacidades de la empresa en relación con las estructuras de los procesos. Para tomar decisiones es esencial tener un conocimiento a detalle de cada paso en el proceso de producción y determinar si cumple con las nuevas especificaciones de los productos. En la rutina diaria, se requiere un análisis sistemático la magnitud de la capacidad de cada etapa en el proceso. El análisis de los procesos implica ajustar las capacidades y equilibrar las diferentes partes del proceso con el objetivo de maximizar la producción o reducir costos, según los recursos disponibles [2].

La producción implica la generación de bienes y servicios, partiendo de esto la producción permite la transformación de la materia prima en productos terminados, de esta manera la organización consolida su ciclo de fabricación y entrega del producto al cliente [3]. Durante la Segunda Guerra Mundial se dieron comienzos a las primeras actividades formalmente de la Investigación de Operaciones (IO) en Inglaterra. En ese contexto, un equipo de investigadores científicos comenzó a tomar decisiones estratégicas sobre la óptima utilización del material bélico, con el final de la guerra las ideas desarrolladas en operaciones militares se ajustaron para mejorar la eficiencia y también la productividad en procesos del ámbito civil [4]. Debido a su esencia la Investigación de Operaciones (IO) se ocupa del bienestar integral de toda la organización, no limitándose a algunos de sus componentes. Un análisis de la IO se centra en la identificación de las soluciones óptimas [5].

La programación lineal puede abordar diversidad de problemáticas de producción analizando las variables que influyen como la composición de la mezcla de materia prima, la distribución de materiales, el equipo y la mano de obra. En cuanto a la asignación de recursos, toda empresa tiene que plantearse esta tarea, porque todas tienen un suministro que es agotable en otras palabras limitado [6]. El término de programación lineal hace referencia a la formulación matemática de la descripción verbal de un problema. En el contexto de la planeación de la producción mediante la programación lineal se identifican tres factores que son esenciales y fundamentales para el planteamiento y resolución del problema [7].

La empresa caso de estudio es una ladrillera de la ciudad de Cúcuta que cuenta con un

plan de producción de la línea del producto de la tableta que no era el óptimo, donde se consideró que se podían presentar inconvenientes debido a la falta de personal suficiente en el turno de producción. El requerir horas extras y la falta de aprovechamiento de los tiempos productivos afectan los objetivos de la producción, por lo tanto, no se cuenta con la capacidad necesaria para suplir la demanda del mercado actual.

Según una encuesta realizada a los gerentes de producción en el sector del área metropolitana de la ciudad de Cúcuta, respecto a las habilidades conceptuales, estos perciben la empresa como un sistema y la toma de decisiones basadas en la experiencia. Así mismo en ocasiones buscan información que les ayude a identificar problemáticas que afecten la organización. Además, se destaca la falta de planeación de proyectos en el área de producción. También se reconoce la necesidad de la evaluación de las técnicas de planeación y control de la producción haciendo uso de herramientas informáticas [8]. Se planteó un modelo de programación lineal con el fin de identificar la combinación más eficiente para sembrar diferentes variedades de caña de azúcar en una región de Brasil. Este modelo considero las diversas variedades de caña de azúcar, los factores ambientales de producción clasificados en las distintas categorías y proyecciones de productividad esperada durante meses [9].

Desarrollaron un modelo determinístico de programación lineal con el objetivo de realizar la planeación táctica operativa de la cadena de suministro de la industria siderúrgica semi-integrada en Colombia. El propósito principal era minimizar los costos asociados a la logística de la producción y de la distribución de productos intermedios y finales en la industria. Estos costos abarcaban las operaciones en cada eslabón o etapa de la cadena de suministro, incluyendo la adquisición de la materia prima, su proceso productivo, la gestión de los inventarios de productos en proceso y finales, además su transporte y distribución [9].

Para atender esta problemática en el proceso de fabricación de la línea de la tableta, la empresa caso de estudio necesita contar con alternativas óptimas para el cumplimiento adecuado. Por lo tanto, esta investigación propuso un modelo matemático de programación lineal que minimiza los costos de producción de la línea del producto de la tableta, seguido de unas propuestas donde se evalúan estrategias de técnicas para lograr conseguir la mezcla resultado del modelo matemático y por último evaluar la mejor alternativa con una herramienta de simulación.

## **Materiales y Métodos**

La investigación se realizó en una ladrillera de la ciudad de Cúcuta, Colombia especializada en elaborar materiales para la construcción derivados de la arcilla Norte santandereana considerada como una de las mejores nacionalmente, por su calidad, textura y componentes. La empresa cuenta con la infraestructura necesaria para transformar la arcilla convirtiéndola en productos terminados tales como: tablonés, enchapes, rosetones, etc. la cual necesita satisfacer la demanda del departamento. Los productos que más influyen en el mercado son bloque colonial - vitrificado, tablon colonial -vitrificado.

Se utilizó un tipo de investigación aplicada, mediante un enfoque de modelamiento matemático con el objetivo de dar solución a un problema real que se presenta en el ámbito del sector cerámico.

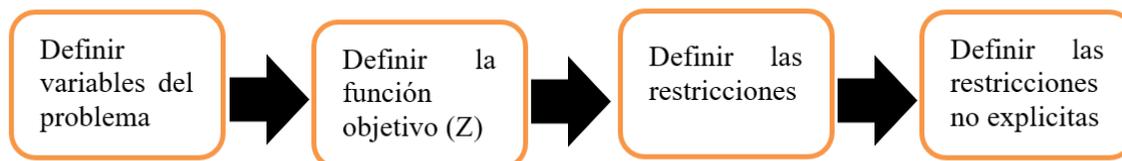
Se toma como población objeto de estudio los productos fabricados por la empresa como: cenefa, espacato, rosetones, bloque, tablón. La muestra que corresponde al objeto de la investigación será la producción de la línea del tablón que incluye: tablón de dimensiones 30x30, de 25x25 centímetros y de tonalidades vitrificadas y coloniales.

Con el fin de recolectar la información se cuenta con una amplia gama de instrumentos y técnicas, que abarcan enfoques cuantitativos y cualitativos. Por esta razón, es posible emplear ambos tipos de métodos en un mismo estudio. Un instrumento de medición hace referencia al recurso utilizado por el investigador para registrar los datos o alguna información que se relacione con las variables que se están considerando [10].

La Investigación de Operaciones nace de la necesidad y de los problemas empresariales de cómo abordar la mejor forma de solucionarlos, así mismo se refiere a la asignación de una forma eficiente de los recursos disponibles en distintas actividades con el propósito de mejorar la eficacia organizacional [5].

La programación lineal se caracteriza por ser de enfoque determinístico de evaluación para elegir la mejor opción entre varias alternativas. En muchos de los casos para tomar la decisión de seleccionar una alternativa depende de varios criterios simultáneamente, permitiendo hacer una clasificación de dos categorías que son: objetivo y restricciones [6].

### ***Fases de la programación lineal***



**Figura I** Fases de la programación lineal

**Fuente:** Elaboración propia [11].

Los pasos que describen el procedimiento para la programación lineal presentado en la figura I comprenden un conjunto sistemático de etapas diseñadas para modelar y resolver problemas de optimización. Estas fases guían al analista o al programador a través de un proceso estructurado que incluye: [11].

#### **Variables del problema.**

Las variables que no se conocen al abordar el problema y que deben determinarse para lograr la optimización de la función objetivo a las que se le conocen como variables de decisión [11].

$X_i$ : Cantidad del producto a producir en un tiempo determinado.

### Definición de parámetros constantes

$C_i$ =Costos del producto  $i$  en el periodo determinado.

$D_i$ = Demanda del producto  $i$  en el periodo determinado.

$K_i$ = Capacidad de fabricación del producto  $i$  en el periodo determinado.

### Función objetivo.

La variable ( $Z$ ) es la que refleja el propósito de optimización en el modelo, tiene una conexión con la pregunta general que se pretende responder. [11].

$$\text{Min } Z = \$ X_{1A} + \$ X_{1B} + \$ X_{2A} + \$ X_{2B}$$

### Coefficientes de la función objetivo.

Estos valores son los que acompañan a la ecuación de la función objetivo [11].

### Restricciones.

Las limitaciones o condiciones que menciona el problema y que deben ser cumplidas al ser abordado a través de la programación lineal, se consideran algunas de ellas como la capacidad del proceso, la mezcla de los materiales, la mano de obra, entre otras [11].

$$X_i \leq C_i$$

$$X_i \leq K_i$$

$$X_i \geq D_i$$

### Restricciones no explícitas.

Se refieren a condiciones que no están directamente disponibles, pero debe considerarse tanto como en la formulación del modelo como en la solución, esta restricción se conoce como no negatividad [11].

$$EX_i \geq 0$$

Con la información obtenida mediante las herramientas de recolección de datos se examinaron las situaciones reales que se evidencian respecto a la elaboración del producto, con el objetivo de proponer una "solución ideal" en los posibles escenarios que se presentaron el proceso, se analizaron los datos recolectados y se utilizó la técnica del método simplex de la programación lineal.

Para lograr el modelo óptimo se considera usar la explotación de la restricción, que es la segunda fase de la metodología de teoría de restricciones (TOC), la idea principal es la de utilizar al máximo los recursos que sean verdaderamente críticos en la determinación del resultado que requiera la empresa [12].

## Resultados y discusión

### Caso de aplicación

La investigación consistió en evidenciar la capacidad del proceso del producto tablón, basado en datos recolectados en un turno de producción de 8 horas, comparando esta cantidad en relación a la demanda esperada mensualmente, con el propósito de llegar a proponer una solución que no afecten la productividad o los costos de operación de la empresa.

### Descripción del proceso

El proceso de producción del tablón tiene comienzo en la recepción de materias primas que consta de dos partes en almacenamiento de silo en bruto que es el material en este caso la tierra en tamaño de partícula de grano grande, siendo extendida en la superficie plana del patio de acopio y siendo pulverizada por un vehículo tipo pesado llamado buldócer, posterior a este proceso se lleva el material al patio de almacenamiento de silo en fino que consta de una tolva que sirve para acapararlo y mediante de cintas o bandas transportadoras se trasladan al molino de martillos, que tiene como función actuar por medio de la gravedad impactando la tierra y dejándola así en tamaño de grano más fino, continuando con el proceso por medio de las bandas transportadoras se descarga en la mezcladora o batidora que la homogeniza con la ayuda del agua en cantidad específica y siendo llevada a la extrusora que moldea la forma del material y se corta en el producto establecido para llevar a los secaderos naturales, habiendo eliminado gran parte del porcentaje de humedad se cargan en los hornos tipo colmena para su respectiva cocción y por último ser empacada y almacenada para su venta.

### Diseño del modelo matemático

La investigación conlleva a buscar la mezcla ideal para lograr cumplir con la demanda esperada por parte de la empresa, por medio de la técnica de la programación lineal se adecua el proceso para lograr el objetivo esperado.

En la tabla I se presentan los datos específicos de la capacidad de fabricación del producto en cuestión, en sus dos dimensiones, con esto se tiene el conocimiento de las cantidades fabricadas en unidades de m<sup>2</sup> y a cuanto equivalen en toneladas.

25X25								
Ud.			Kg			Ton		
1 m <sup>2</sup>	8	tablones	1 m <sup>2</sup>	22	Kg	1000	Kg	1 ton
17.500 m <sup>2</sup>	140.000	tablones	17.500 m <sup>2</sup>	385.000	Kg	385.000	Kg	385 ton
30X30								
Ud.			kg			Ton		
1 m <sup>2</sup>	5.5	tablones	1 m <sup>2</sup>	25	Kg	1000	Kg	1 ton
17.500 m <sup>2</sup>	96.250	tablones	17.500 m <sup>2</sup>	437.500	Kg	437.500	Kg	437,5 ton

**Tabla I.** Cantidades fabricadas de la línea del producto

***Planteamiento del modelo matemático de PL para la planeación de la producción.***

Definición de las variables de decisión.

$i$  = Subíndice que identifica el tipo de tableta a producir:

25x25=1    30x30=2

Vitrificado = A    Colonial= B

$X_i$ : Cantidad de toneladas de tableta tipo  $i$  a producir en un mes de producción.

***Definición de parámetros constantes.***

$C_i$ = Costos de la tableta  $i$  en el mes de producción.

$D_i$ = Demanda de la tableta  $i$  en el mes de producción.

$K_i$ = Capacidad de producción de la tableta  $i$  en el mes de producción.

**Función objetivo.** El objetivo planteado fue la minimización de los costos que se encuentra dado por la expresión:

$$\text{Min } Z = \$ 129.500.000 (X_{1A} + X_{1B}) + \$ 135.953.125 (X_{2A} + X_{2B})$$

**Restricciones del problema.** El modelo matemático consideró para un mes de producción restricciones tales como: la demanda, la capacidad disponible y las no negatividad.

**Restricción de capacidad.**

$X_{1A} + X_{1B} + X_{2A} + X_{2B} \leq 2500$	Disponibilidad de silo bruto	(DSB)
$X_{1A} + X_{1B} + X_{2A} + X_{2B} \leq 3150$	Disponibilidad de silo fino	(DSF)
$X_{1A} + X_{1B} + X_{2A} + X_{2B} \leq 3000$	Capacidad de almacenamiento molino	(CAM)
$X_{1A} + X_{1B} + X_{2A} + X_{2B} \leq 3000$	Capacidad extrusora	(CE)
$X_{1A} + X_{1B} + X_{2A} + X_{2B} \leq 1000$	Capacidad secaderos	(CS)
$X_{1A} + X_{1B} + X_{2A} + X_{2B} \leq 950$	Capacidad hornos	(CH)

**Restricción de demanda.** La demanda corresponde a 940 toneladas.

$X_{1A} \geq 220$     Demanda producto # 1C (DP1C)

$X_{1B} \geq 220$     Demanda producto #1V (DP1V)

$X_{2A} \geq 250$     Demanda producto # 2 C (DP2C)

$X_{2B} \geq 250$     Demanda producto # 2 V (DP2V)

**Restricción de no negatividad.**  $E_{xi} \geq 0$

La solución del modelo matemático de PL para la programación de la producción mediante el método simplex del software Win QSB se muestra en la tabla II.

Decisión Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(i)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min c(i)	Allowable Max c(i)
X <sub>1A</sub>	220	129.500.000	28.490.000.384	0	Basic	0	M
X <sub>1B</sub>	220	129.500.000	28.490.000.384	0	Basic	0	M
X <sub>2A</sub>	250	135.953.120	33.988.280.320	0	Basic	0	M
X <sub>2B</sub>	250	135.953.120	33.988.280.320	0	Basic	0	M
<b>Objective</b>	<b>Function</b>	(Min)=	124.956.557.312				
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable min.RHS	Allowable Max.RHS
DSB	940	≤	2.500	1.560	0	940	M
DSF	940	≤	3.150	2.210	0	940	M
CAM	940	≤	3.000	2.060	0	940	M

CE	940	≤	3.000	2.060	0	940	M
CS	940	≤	1.000	60	0	940	M
CH	940	≤	950	10	0	940	M
DP1C	220	≥	220	0	129.500.000	0	230
DP1V	220	≥	220	0	129.500.000	0	230
DP2C	250	≥	250	0	135.953.120	0	260
DP2V	250	≥	250	0	135.953.120	0	260

Para que el modelo ideal se pueda cumplir, según se muestra en la tabla II la empresa debe hacer un ajuste en su proceso, a continuación, se presentan alternativas que pueden lograr esas mejoras, se escogerá la que de un resultado aproximado y se modelara en los simuladores para evidenciar como se presentarían los cambios en el proceso.

**Alternativas de mejora del proceso productivo**

Se presentan alternativas que pueden dar solución al problema actual:

**A.** Hacer un estudio de tiempos en el proceso de elaboración de la línea del tablón y evidenciar si se aprovecha al máximo este periodo de producción o se generan desperdicios.

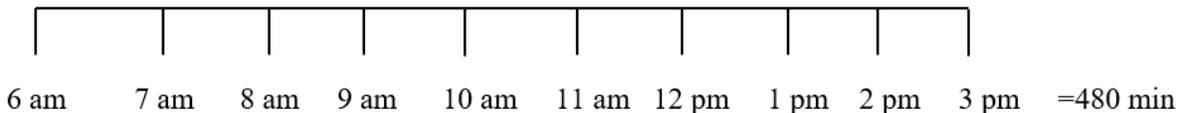
**B.** Identificar las posibles causas de las pérdidas de unidades de tablón en el mes de producción, haciendo uso de un estudio de control de calidad.

**C.** Establecer si la distribución de planta es efectiva o se puede hacer un ajuste aprovechando espacios para la mejora del proceso.

Se eligió la hipótesis "A" donde se evalúa como se puede optimizar tiempos.

Se presenta el tiempo de proceso actual de elaboración de la línea del producto tablón.

Tiempo de parada rutinaria por parte de los trabajadores:



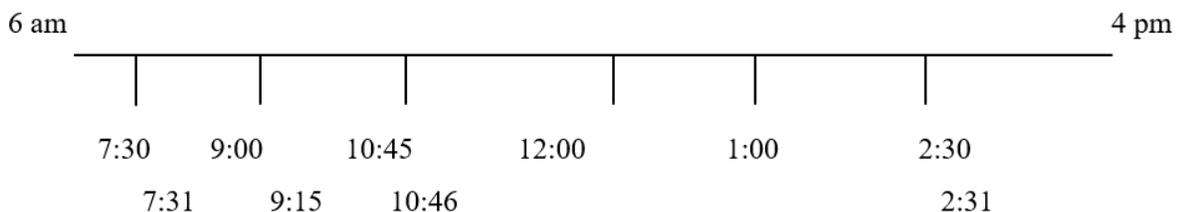
Tiempo de parada por parte de la maquina (min): 2

Total de minutos sin aprovechar: tiempo de parada por parte de los trabajadores+ tiempo de parada por parte de la maquina = 22 minutos de parada rutinaria.

Tiempo aprovechado en un turno normal de producción: 480 minutos-22 minutos = 458 minutos

Ahora se presenta el estudio de tiempos de una manera efectiva que pueda lograr la demanda deseada de la línea del producto tablón. Se estudia un escenario donde se combina el periodo de fabricación.

Hora extra con paradas por parte de los operarios cada hora y media.



Tiempo aprovechado (min): 90 + 89+ 90 + 74 + 90+89 = 522

Tiempo de reproceso (min): 2

Total tiempo producción (min): 522 - 2 = 520

**Producción**



$$E = 1890 + 1869 + 1890 + 1554 + 1890 + 1869 = 10.962$$

Se le restan los 2 minutos de reproceso:  $10.962 - 42 = 10.920$

Se incluye la información de tiempos obtenidas en un simulador de Excel, para ver el comportamiento de las variables dentro del proceso actual en comparación al proceso para cumplir la demanda esperada.

PRODUCCION						
CAPACIDAD 25x25						
Cantidad	Unidad	Tiempo		Turno de producción		
21	Tablones	1	min			
1,260	Tablones	60	min	1	hr	
10,920	Tablones	520	min	8	hr	día producción
109,200	Tablones	5,200	min	480	min	día producción
				6,240	min	mes producción

CAPACIDAD 30X30						
Cantidad	Unidad	Tiempo		Turno de producción		
20.5	Tablones	1	min		hr	
1,230	Tablones	60	min	1	hr	
10,783	Tablones	526	min	8	hr	día producción
161,745	Tablones	7,890	min	480	min	día producción
				5,760	min	mes producción

UNIDADES CONSIDERABLES		
REPROCESO		550 MP
PERDIDAS		200 MP
<b>TOTAL</b>		<b>750 MP</b>

CAPACIDAD TOTAL			
25X25	30X30	TOTAL EN PROCESO	TOTAL TERMINADAS
109,200	161,745	270,945	270,195

RELACION CAPACIDAD Y DEMANDA			
236,250	Tablones	35,000	m <sup>2</sup>
270,000	Tablones	40,000	m <sup>2</sup>

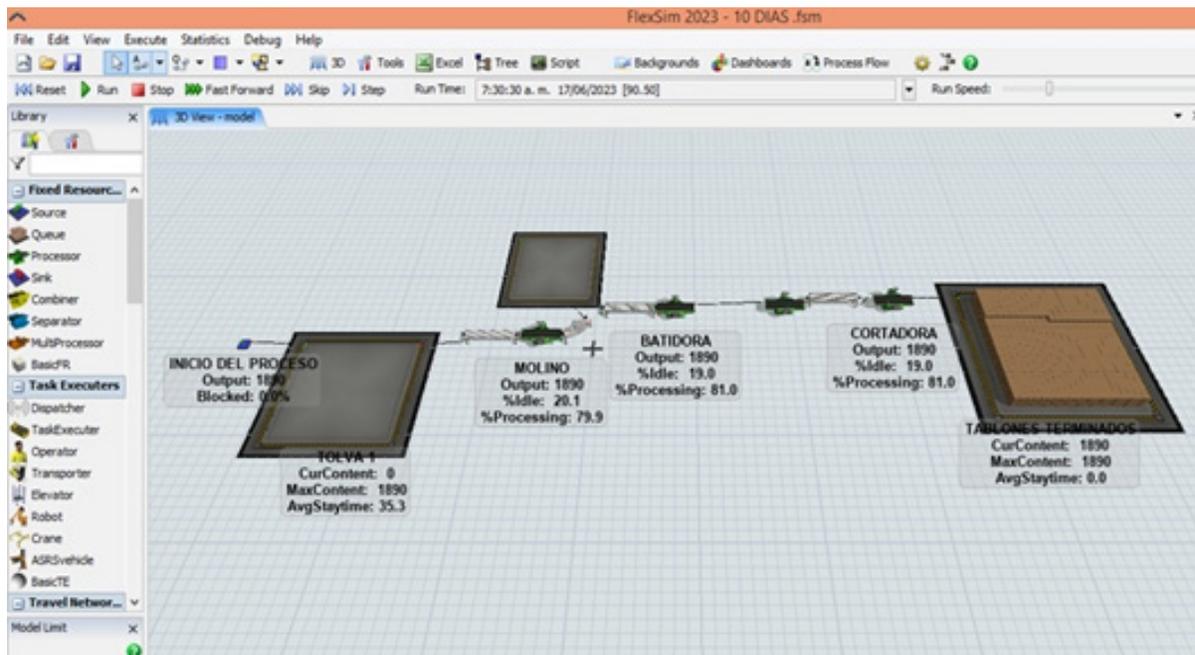
**Tabla III.** Formato actual de la capacidad del proceso de producción de la línea del producto tablón.

El proceso debe fabricar 270,750 tablonos para suplir la demanda exacta.

ESTRATEGIA COMBINADA			
DIAS PN			
10	HE/PL	520	109,200
15	HE/AT	526	161,745
25			270,945

**Tabla IV.** Estrategia combinada para lograr el proceso ideal.

Se presenta la solución en la tabla IV en el simulador de procesos de FlexSim que es una herramienta a base de un software que permite visualizar y probar cambios dentro del proceso teniendo en cuenta datos probabilísticos, para llegar a la demanda deseada por la empresa se prueba un modelo mediante una estrategia que combina los periodos de producción de la siguiente manera : 10 días donde producirán 1890 tablonos cada 90 minutos (1 h ½) para el formato de 25x25 cms y para los 15 días producirán 1230 tablonos cada 60 minutos (1h) del formato 30x30 cms.



**Figura 2.** Simulación de producción por hora y media durante un periodo de 10 días  
Fuente: elaboración propia.

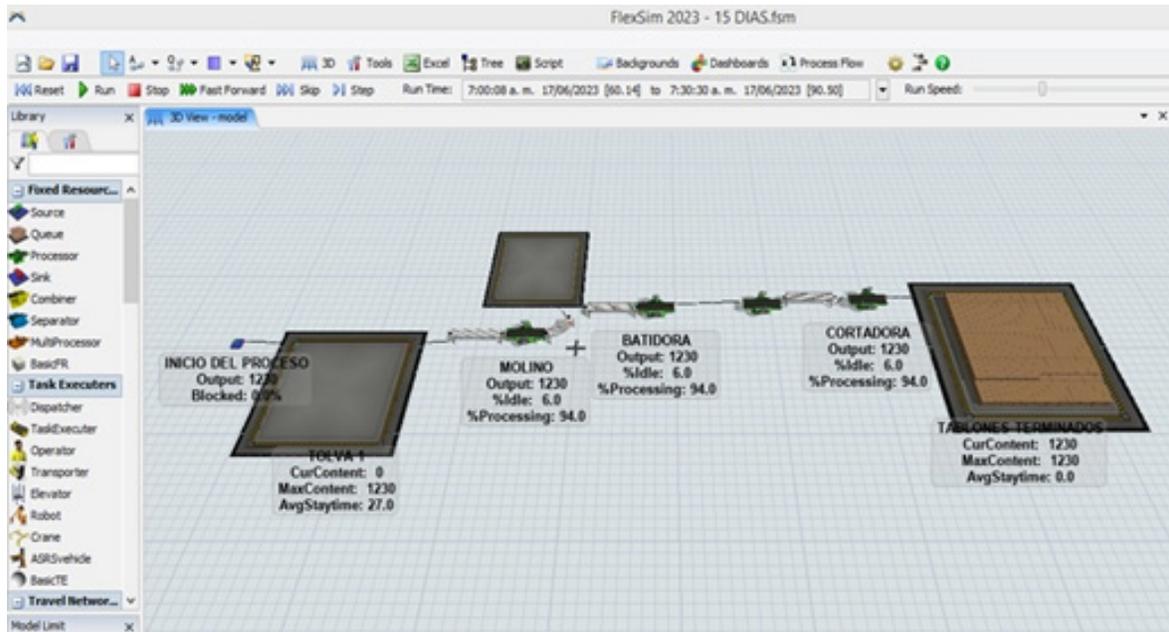


Figura 3. Simulación de producción por hora durante un periodo de 15 días.  
Fuente: elaboración propia

Se puede evidenciar en la figura 2 y 3 que con la alternativa de optimización de tiempos para la mejora del proceso de fabricación del producto en cuestión se puede lograr la demanda deseada por parte de la empresa objeto de estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la técnica de la programación lineal se puede evidenciar que podemos mejorar el modelo ideal para esto se deben hacer cambios en el modelo actual partiendo de los recursos de las restricciones de la demanda que tienen precio sombra y/o los recursos de las restricciones de capacidad que tienen holgura, de esta manera creando un modelo óptimo.

Se plantea un nuevo modelo evidenciado en la figura 4 modificando los recursos de la restricción de capacidad de los hornos para alcanzar su capacidad máxima y los recursos de las restricciones de demanda de la siguiente manera respectivamente: aumentar en diez toneladas de 940 toneladas a 950 toneladas, y las demandas tomaran un nuevo cambio que es aumentar las toneladas del formato 25x25 y disminuir las toneladas del formato 30x30.

Variable ->	X1A	X1B	X2A	X2B	Direction	R. H. S.
Minimize	129500000	129500000	135953125	135953125		
DSB	1	1	1	1	<=	2500
DSF	1	1	1	1	<=	3150
CAM	1	1	1	1	<=	3000
CE	1	1	1	1	<=	3000
CS	1	1	1	1	<=	1000
CH	1	1	1	1	<=	950
DP1C	1				>=	255
DP1V		1			>=	255
DP2C			1		>=	220
DP2V				1	>=	220
LowerBound	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

Figura 4. Modelo formulado en software Win QSB  
Fuente: elaboración propia.

08:22:41		Thursday		December		01		2022	
Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)		
1	X1A	255.00	129,500,000.00	33,022,500,864.00	0	basic	0	M	
2	X1B	255.00	129,500,000.00	33,022,500,864.00	0	basic	0	M	
3	X2A	220.00	135,953,120.00	29,909,686,272.00	0	basic	0	M	
4	X2B	220.00	135,953,120.00	29,909,686,272.00	0	basic	0	M	
Objective		Function	(Min.) =	125,864,378,368.00					
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS		
1	DSB	950.00	<=	2,500.00	1,550.00	0	950.00	M	
2	DSF	950.00	<=	3,150.00	2,200.00	0	950.00	M	
3	CAM	950.00	<=	3,000.00	2,050.00	0	950.00	M	
4	CE	950.00	<=	3,000.00	2,050.00	0	950.00	M	
5	CS	950.00	<=	1,000.00	50.00	0	950.00	M	
6	CH	950.00	<=	950.00	0	0	950.00	M	
7	DP1C	255.00	>=	255.00	0	129,500,000.00	0	255.00	
8	DP1V	255.00	>=	255.00	0	129,500,000.00	0	255.00	
9	DP2C	220.00	>=	220.00	0	135,953,120.00	0	220.00	
10	DP2V	220.00	>=	220.00	0	135,953,120.00	0	220.00	

Figura 5. Reporte combinado  
Fuente: elaboración propia.

Como se ilustra en la figura 5 se puede aprovechar al máximo la restricción de la capacidad de hornos sin que se presente holgura.

PRODUCCION						
CAPACIDAD 25x25						
Cantidad	Unidad	Tiempo		Turno de producción		
21	Tablones	1	min			
1,260	Tablones	60	min	1	hr	
11,046	Tablones	526	min	9	hr	día producción
110,460	Tablones	5,260	min	520	min	día producción
				7,800	min	mes producción
CAPACIDAD 30X30						
Cantidad	Unidad	Tiempo		Turno de producción		
20.5	Tablones	1	min		hr	
1,230	Tablones	60	min	1	hr	
10,783	Tablones	526	min	9	hr	día producción
161,745	Tablones	7,890	min	526	min	día producción
				5,260	min	mes producción

UNIDADES CONSIDERABLES			
REPROCESO		550	MP
PERDIDAS		200	MP
<b>TOTAL</b>		750	MP

CAPACIDAD TOTAL			
25X25	30X30	TOTAL EN PROCESO	TOTAL TERMINADAS
110,460	161,745	272,205	271,455
DEMANDA			
Cantidad		Unidad	
40,455		m <sup>2</sup>	
273,071		tablones	

ESTRATEGIA COMBINADA			
DIAS PN			
10	HE/AT	526	110,460
15	HE/AT	526	161,745
25			272,205
2 HORAS			273,975

**Tabla V.** Modelo optimo presentado en un simulador de Excel

Se puede evidenciar en la tabla V que si la empresa objeto de estudio quiere lograr la realización del modelo optimo debe ejercer un periodo de tiempo de una estrategia que combine los periodos de fabricación de ambos productos en las diferentes dimensiones y tonalidades, deberán asumir la asignación de un trabajador extra que supla la necesidad de un operario en la maquina cuando este deba parar por algún motivo humano en la jornada laboral para así evitar las paradas por parte del personal donde se apaga la máquina.

No es necesario simular el proceso con la herramienta del software FlexSim ya que es aplicar de la misma manera el modelo ideal solo que variando los tiempos.

### **Discusión**

Los cálculos de cada uno de los distintos modelos de plan de producción, en comparación con los enfoques de tipo tradicional o convencional y también de programación lineal, proporciona la información a detalle de las alternativas que la organización puede usar para cumplir con un objetivo de producción específico, en donde se puede verificar la efectividad que tiene el utilizar un modelo de programación lineal, el cual es una técnica sistemática e innovadora diseñada con el fin de combinar cada una de las variables que influyen en la producción, y que además optimiza a detalle cada uno de los recursos que emplea la empresa para fabricar un producto, con el propósito de reducir los costos que se tiene para requerir con la producción [13].

Como se puede observar en la configuración realizada de la producción, derivadas de la implementación del modelo que permite optimizar los costos en contraste con la planeación inicial, generando una reducción de \$ 49200 a \$ 3920 y un incremento del 3% en la utilización de la capacidad de producción específicamente en el equipo de corte [14].

El modelo que se implementó bajo la utilización del algoritmo está siendo utilizado en una empresa textil real. Sus resultados han sido como una guía referencial para la planificación estratégica del área de mercadeo de la organización [15].

Se desarrolló la proporción ideal de la mezcla para elaborar cerámica que sea resistente a los ácidos en una compañía con una industrial específica, además se identificó la composición óptima de la mezcla de la pulpa del bagazo y papel que está destinado al reciclaje en la producción de cartón corrugado en otra organización de las mismas características que la empresa objeto de estudio [16].

Se evaluó la posibilidad de reubicar empleados entre procesos similares, como el caso del trabajador involucrado en el proceso de troquelado, rolado y embutido de bases, cuya eficiencia en el tiempo productivo es del 61%. Este personal además se puede desempeñar en el proceso de grabado, troquelado, rolado y embutido del protector de cuello, donde su eficiencia en el uso del tiempo productivo es del 34% y de esta manera se puede aprovechar completamente su tiempo disponible en ambos procesos durante el periodo de estudio, ahorrando la necesidad de contratar un nuevo empleado para cumplir con esta fase final del proceso [17].

Además ha sido útil comprobar que al hacer modificaciones en los valores de las restricciones inicialmente establecidas, estos también influyen en los cambios de los valores en la función objetivo le lograr la maximización óptima para la empresa objeto de estudio, por ejemplo con el aumento en la asignación del presupuesto en la variable de la publicidad, dirigiéndola específicamente a un solo producto como el de los sillones, se genera un aumento en las utilidades comparadas con las de la formulación inicial del problema [18].

Se abordan los cálculos que fueron beneficiosos para el estudio en la reducción de la producción en la presentación de nopal cambray en 500 gramos, en su lugar se recomienda producir solamente 254 unidades semanales por semana de la presentación de 5000 gramos de nopal en cubo y un aumento de la producción en 59.498 unidades de la presentación de 500 gramos en cubo. Esto implica la modificación en la producción para la optimización de los recursos y los costos asociados al proceso. En el embolsado de la presentación de 5000 gramos se observa un mayor desperdicio debido a su tamaño presentando un alto margen de error debido a sus dificultades en el proceso [19].

Se calculó la cantidad anual solicitada y el costo total para cada uno de los materiales estudiados. Para el caso del producto del isocianato duro 99, él estudia actual muestra

una solicitud anual de 21.840 kg, sin embargo según el modelo de programación lineal propuesto considera las variables como la capacidad productiva, la demanda los costos unitarios por cada artículo se recomienda un total de 18.494.33 kg con un costo mínimo de \$ 81.920.43 y comparándolo con el costo actual del producto que es de \$ 89.978.40 se logra un ahorro del 8.96% [20].

## Conclusiones

Las empresas del ámbito laboral de arcilla podrán evidenciar los procesos de mejora continua utilizando técnicas y herramientas de la investigación de operaciones como lo son: la programación lineal y simuladores que les permita dar un resultado aproximado a las problemáticas que se presentan en la planeación de producción.

Con los resultados obtenidos en la presente investigación, otras empresas del sector cerámico pueden basarse para conseguir una solución de mejora de los recursos y tiempos su proceso productivo, deberán incluir los datos específicos del proceso y ser objetivos en cuanto a lo que se requiere lograr.

El modelo matemático demostró eficacia al mejorar la planificación de la producción en la ladrillera, optimizando los recursos disponibles, aprovechamiento de tiempos productivos y adaptabilidad a cambios en la demanda.

Se concluye que con la propuesta del modelo matemático no solo se mejora la eficiencia, sino que también fortalece la posición competitiva de la ladrillera en el mercado.

**Agradecimientos:** Expresamos nuestro profundo agradecimiento a la ladrillera que fue objeto de estudio por su generosa contribución y apoyo durante la realización de este estudio. Su valiosa cooperación y facilitación de recursos han sido fundamentales para el desarrollo y conclusión exitosa de nuestra investigación. Agradecemos sinceramente el compromiso y la colaboración que han demostrado, lo cual ha enriquecido significativamente la calidad de este artículo.

## Referencias

- [1] J.M Mogrovejo, L.M Bastos y J.A Pabón, "Impacto económico del sector cerámico en San José de Cúcuta (Colombia)", *Universidad & Empresa*, vol. 17(29), pp.157-180, Febrero 2015, Doi: [dx.doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.07](https://doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.07)
- [2] R. B Chase y F.R Jacobs, *Administración de operaciones producción y cadena de suministros*, 13a ed. México: McGraw-Hill, 2011.
- [3] J. Heizer y B. Render, *Principios de administración de operaciones*, 7a ed. México: Pearson Educación, 2009.
- [4] H. A Taha, *Investigación de operaciones*, 9a ed. México: Pearson Educación, 2012.

- [5] F.S Hillier y G. J Lieberman, *Introducción a la investigación de operaciones*, 9a ed. México: The McGraw-Hill, 2010.
- [6] J.A Córdova, *Investigación de operaciones*, 1a ed. México: Redes del tercer milenio, 2012.
- [7] M. Moya, "Planeación de la producción mediante la programación lineal con incertidumbre: uso del programa OR Brainware Decisión Tools2", *Tecnología en Marcha* vol.24 (4), pp. 85-95, octubre-diciembre, 2011. [En línea]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835573>
- [8] S. Handaragama and K. Kusakabe, "Participación de las mujeres en las asociaciones empresariales: un caso de pequeñas empresas turísticas en Sri Lanka," *Heliyon*, vol. 7, no. 11, 2021.
- [9] C. Guedez, "Programación Lineal e ingeniería industrial: una aproximación al estado del arte", *Ingeniería industrial y nuevas tendencias* vol. 2 (6), pp 61-78, Enero-Junio, 2011. [En línea]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215021914005>
- [10] M. Tamayo, "El proceso de la investigación científica" 4a ed. México: Limusa Noriega, 2002.
- [11] J.M Izar, *Fundamentos de investigación de operaciones para administración*, 1a ed. México: Editorial universitaria Potosina, 1996.
- [12] C.I Aguilera, "Un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones", *Estudios gerenciales* Vol. 16(77), pp. 53-69, Diciembre 2000. [En línea]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/212/21207704.pdf>
- [13] J. Reyes and C. Molina, "Plan agregado de producción mediante el uso de un algoritmo de programación lineal", *Dialnet* vol. 34 (1), Octubre, 2014. [En línea]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8497228>
- [14] G. A López, N. A Castro y O. Guerra "Optimización del plan de producción. Estudio de caso carpintería de aluminio" *Revista científica de la universidad de Cienfuegos* vol.9 (1), pp. 178-186, Enero, 2017. [En línea]. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v9n1/rus26117.pdf>
- [15] J.A Arango, "Determinación de la mezcla optima de productos para una tejeduría textil" *Scientia et Technica* vol. 15(42), pp. 125-130, Agosto, 2009. [En línea]. Disponible en <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/8b5ee4ba-ec3c-42a5-b412-ae180b3cbf66/content>
- [16] Y. F Avila, C. A Marti, Y.A Carvajal, J.E Miño and E. Gonzales, "Experiencias de las

aplicaciones de la programación lineal en la industria de procesos químicos en Cuba” *Revista Centro azúcar* vol. 47(4), pp. 90-102, Octubre-Diciembre 2020. [En línea]. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n4/2223-4861-caz-47-04-90.pdf>

- [17] A. J Caicedo, A. M Criado and K.J Morales, “Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica” *Scientia et Technica* vol.24 (3), pp. 408-419, Septiembre 2019. [En línea]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/343902893\\_Modelo\\_matematico\\_para\\_la\\_planeacion\\_de\\_la\\_produccion\\_en\\_una\\_industria\\_metalmecanica](https://www.researchgate.net/publication/343902893_Modelo_matematico_para_la_planeacion_de_la_produccion_en_una_industria_metalmecanica)
- [18] C. E Flores, K.L Flores “Método simplex de programación lineal aplicado a una empresa distribuidora de mobiliario” *Revista entorno* vol. 71, pp. 22-33, Enero-Junio 2021.Doi: <https://doi.org/10.5377/entorno.v1i71.14317>
- [19] V. Ramírez, M. A Vásquez, A. M Ruiz. “El método simplex como herramienta en la optimización de recursos de una empresa agroindustrial” *Revista de ciencias sociales y humanidades* vol. 7(34) pp.1-14, Noviembre 2022.Doi: <http://doi.org/10.46652/rgn.v7i34.980>
- [20] D. Salazar, J. Reyes, L. Morales, S. Sánchez. “Optimización de costos de inventarios con algoritmo de programación lineal. Caso aplicado a la industria de suelas”, *Innova research journal* vol.3 (21) pp.77-83, Febrero 2018.Doi: <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n2.1.2018.670>