



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

143 - 153



ARTÍCULO  
Científico

## OPTIMIZACIÓN DE FORMATOS DE PAPEL DE UNA EMPRESA CARTONERA PARA LA REDUCCIÓN DE HORAS PARADAS Y GASTOS UTILIZANDO UN MODELO PLEM

OPTIMIZATION OF PAPERS FORMATS OF A CARTON COMPANY TO REDUCE DOWNTIME AND  
EXPENSES USING A MIXED INTEGER LINEAL PROGRAMMING MODEL

**Gabriel William Valenzuela Llauca**  
20183377@aloe.ulima.edu.pe

 ORCID: 0000-0002-2150-0704  
Universidad de Lima, Lima - Perú

**Aceptación:** 20 de Noviembre del 2024  
**Publicación:** 3 de Diciembre del 2024

OPTIMIZACIÓN DE FORMATOS DE PAPEL DE UNA EMPRESA CARTONERA PARA LA REDUCCIÓN DE HORAS  
PARADAS Y GASTOS UTILIZANDO UN MODELO PLEM

**Gabriel William Valenzuela Llauca**  
ORCID: 0000-0002-2150-0704  
<https://revista.scienceevolution.com/>



### RESUMEN

El crecimiento de la demanda de cartón corrugado exige la eficiencia de los procesos de las empresas cartoneras. Por ello, la presente investigación se enfoca en la reducción de horas paradas y desperdicios en la actividad de corrugado. Para identificar las causas, se utilizan las herramientas Value Stream Mapping, Diagrama de Árbol de Problemas y Diagrama de Pareto. La principal causa identificada es la diversidad de formatos, por lo que se aplica un Modelo Matemático de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM) en el software LINGO. Mediante la solución del modelo planteado, se redujo de 45 a 15 formatos de papel. Posteriormente, se realizó un escenario de producción del mes de agosto con los formatos óptimos, logrando reducir el 23.55% de desperdicio y 41.68% de horas paradas totales. Asimismo, la utilidad se incrementó en 2.90%. Cabe resaltar que, la presente solución del modelo es aplicable al cartón corrugado tipo industrial, siempre que exista la disponibilidad de stock de los formatos óptimos.

**Palabras clave:** Cajas de cartón, optimización, formatos papel, paradas, desperdicios

### ABSTRACT

The growing demand for corrugated cardboard requires greater efficiency in the processes of cardboard companies. Therefore, the research focuses on reducing downtime and waste in the corrugated activity. To diagnose the causes, the Value Stream Mapping (VSM), Problem Tree Diagram and Pareto Diagram tools were used. The main cause identified was the diversity of formats, leading to the application of a Mixed Integer Linear Programming (MILP) Mathematical Model using LINGO software. Likewise, the model solution reduced the number of paper formats from 45 to 15. A production scenario for the month of August was then created using optimal formats, resulting in 23.55% reduction in waste and 41.68% decrease in total downtime. In addition, profit increased by 2.90%. This model solution works for industrial-type corrugated cardboard as long as there is stock availability of the optimal formats.

**Keywords:** Cardboard boxes, optimization, paper formats, unplanned downtime, waste



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

143 - 153



## INTRODUCCIÓN

El cartón corrugado es un material cuya composición procede de la unión de dos o más capas de papel liso (llamadas "liners") con una capa ondulada intermedia (conocida como "flauta"), a partir de fibras celulósicas extraídas de madera o papel reciclado (Castro Sojo, 2015). Asimismo, este material es ampliamente utilizado para proteger, transportar y almacenar productos (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2009).

Según el anuario del Ministerio de Producción (2022), la producción de cajas de cartón corrugado en el Perú incrementó en 15.88 % en el 2020 y 6.30 % en 2021, en comparación con el año anterior. Asimismo, la tendencia de la producción de cajas de cartón es lineal positiva, por lo que se pronostica la necesidad de incrementar la producción. Esto se debe a que en los últimos años la demanda se ha incrementado por el crecimiento y nacimiento de nuevas empresas. Según un estudio de Exactitude Consultancy (2022), se estima un crecimiento anual compuesto de 4% en el mercado global de empaques corrugados del 2022 a 2029. Este crecimiento impulsa a las empresas cartoneras a optimizar los procesos de producción del cartón corrugado.

Según Infraspark Team, (2023), las horas paradas no planificadas y el desperdicio generan gastos que afectan a la rentabilidad de la empresa y su capacidad para cumplir con los pedidos de los clientes. Estos problemas influyen en la pérdida de participación del mercado de cartón corrugado, ya que los clientes exigen un lead time (plazo de entrega) menor con un bajo costo. En este contexto, la empresa que participa en esta investigación es una de las líderes en el mercado peruano de cartón corrugado, cuyo objetivo es el crecimiento y aumento de participación del mercado; sin embargo, su participación de mercado se redujo en 22%, en el primer trimestre del 2023. En parte, esto se debe por la ineficiencia de las corrugadoras, ocasionada por las 422.67 horas paradas no planificadas al mes, generando un desperdicio mensual de 3 282 <sup>TM</sup> (Toneladas métricas).

Como resultado de lo anterior, la presente investigación pretende, si es posible, reducir las horas paradas no planificadas y el desperdicio de materiales mediante la optimización de los formatos de papel, utilizando un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM).

Por su parte, investigaciones previas prueban que analizar procesos y usar modelos matemáticos mejora la eficiencia y reduce desperdicios. En ese sentido, el estudio de Quishpe y Arroyo (2021), consistió en el análisis de optimización a una empresa ecuatoriana de envases de cartón cilíndricos; utilizaron el Value Stream Mapping (VSM) como herramienta de diagnóstico y de optimización. De esa manera, su investigación validó el uso del VSM como herramienta para la determinación de problemas en los procesos productivos, así como las posibles soluciones.

Asimismo, Medina et al. (2020) trabajaron en un modelo matemático para optimizar el corte de pliegues de cartulina de una empresa poligráfica de Cuba. Para ello, utilizaron la programación lineal de enteros desarrollando un modelo de minimización de cortes según formatos de la materia prima disponible. Lograron disminuir el desperdicio y demostraron que el uso de un modelo matemático permite disminuir los desperdicios.

Es por eso que, el objetivo principal de esta investigación es proponer un modelo matemático de optimización lineal entera mixta, que permita reducir las horas paradas no planificadas en las 3 corrugadoras, mientras que los objetivos secundarios son disminuir el desperdicio y aumentar la rentabilidad.

Del mismo modo, esta investigación tiene como objetivos específicos: reducir las horas paradas y el desperdicio, brindando a la empresa la disponibilidad de seleccionar estrategias de captación de clientes por lead time menor y costos bajos. Por otro lado, busca contribuir a futuras investigaciones de optimización de formatos de papel en una empresa cartonera, ya que existe poca información del presente tema.

Por último, se destaca que la metodología empleada en la presente investigación fue el Modelo de Programación Lineal de Enteros Mixta, esta no cumple con el principio de divisibilidad, usa variables enteras y binarias, lo que la diferencia de la programación lineal (Fonseca, 2017).



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

143 - 153



## MÉTODO

El diseño de la presente investigación es de tipo no experimental, porque se realiza sin la manipulación de las variables deliberadamente sino sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para su análisis (Fernandez & Baptista, 2020). Asimismo, es una investigación aplicada porque se orienta a resolver problemas prácticos a través de la adquisición de nuevo conocimiento (Álvarez, 2020)

El alcance de la investigación es exploratorio-descriptivo, ya que estudia un problema que no ha sido muy abordado con investigaciones científicas (Hernandez et al., 2011, p. 71), como los formatos óptimos de papel en una empresa cartonera. Por otro lado, es un estudio descriptivo, porque busca propiedades y características importantes del fenómeno analizado, tal como indican Fernandez & Baptista (2020); considerando las dimensiones de papel que la corrugadora puede procesar y el desperdicio que puede generar.

El estudio tiene la orientación de explorar y describir las variables dentro de su ambiente natural; la variable independiente es el motivo de ocurrencia de otro fenómeno (Amiel, 2007), como el formato del papel Liner que es el objeto de estudio para entender la variable dependiente del fenómeno resultante (Amiel, 2007); siendo las horas de paradas no planificadas en las corrugadoras, así como el desperdicio generado.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, porque recicla datos para establecer suposiciones con base en la medición numérica y el análisis estadístico (Fernandez & Baptista, 2020).

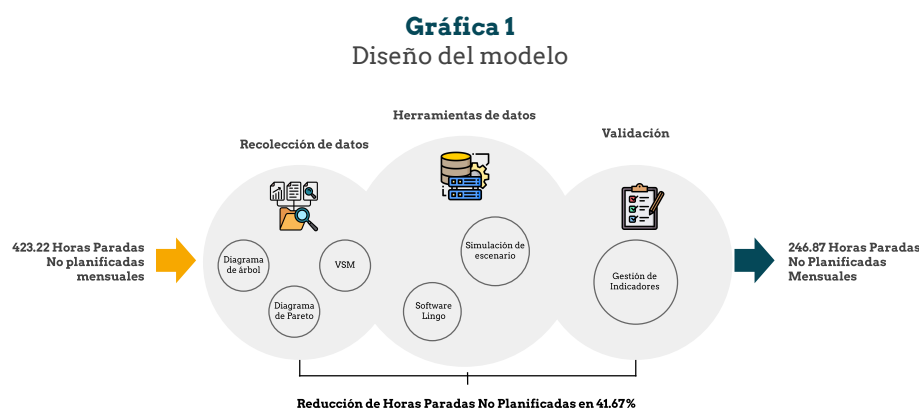
El tipo de muestra a utilizar es no probabilística, ya que no depende de la probabilidad sino del proceso de toma de decisiones del investigador (Hernandez et al., 2011); por ello, se ha seleccionado, por conveniencia, la data de producción del cartón corrugado de 17 meses donde se obtiene el consumo de papel Liner y el cartón desperdicio generado.

Para el desarrollo de esta investigación se realiza un diagnóstico con la herramienta Value Stream Mapping, ya que es una herramienta para la competitividad que permite analizar la situación actual siendo posible identificar y eliminar el desperdicio logrando la agilización de procesos claves y reducción de costos (Keun & Yoon, 2016). Después, se realiza un Diagrama de Árbol de Problemas por ser un modelo de relaciones causales que explican el problema (Hernández-Hernández et al., 2015). Además, se realiza un Diagrama de Pareto el cual permite identificar la causa que tiene un mayor impacto y priorizar las iniciativas de mejora (Laoyan, 2023). Las herramientas mencionadas permitieron detectar el problema principal: la diversidad de formatos de papel que ingresan a la corrugadora generando 246.22 horas de paradas entre las tres corrugadoras al mes.

Para reducir la diversidad de formatos de papel, se utiliza un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta por brindar una solución de optimización al problema del negocio, el modelo consta de 3 elementos: función objetivo, variables de decisión y restricciones (International Business Machines Corporation [IBM], 2021).

Identificado los formatos óptimos, se realiza una estimación en Excel de los pedidos producidos en el mes de agosto con los formatos óptimos de Lingo para calcular las nuevas horas paradas, el desperdicio y la rentabilidad aumentada.

El modelo empleado en la investigación es el siguiente:





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

143 - 153

OPTIMIZACIÓN DE FORMATOS DE PAPEL DE UNA EMPRESA CARTONERA PARA LA REDUCCIÓN DE HORAS PARADAS Y GASTOS UTILIZANDO UN MODELO PLEM

Gabriel William Valenzuela Llauca

ORCID: 0000-0002-2150-0704

<https://revista.scienceevolution.com/>

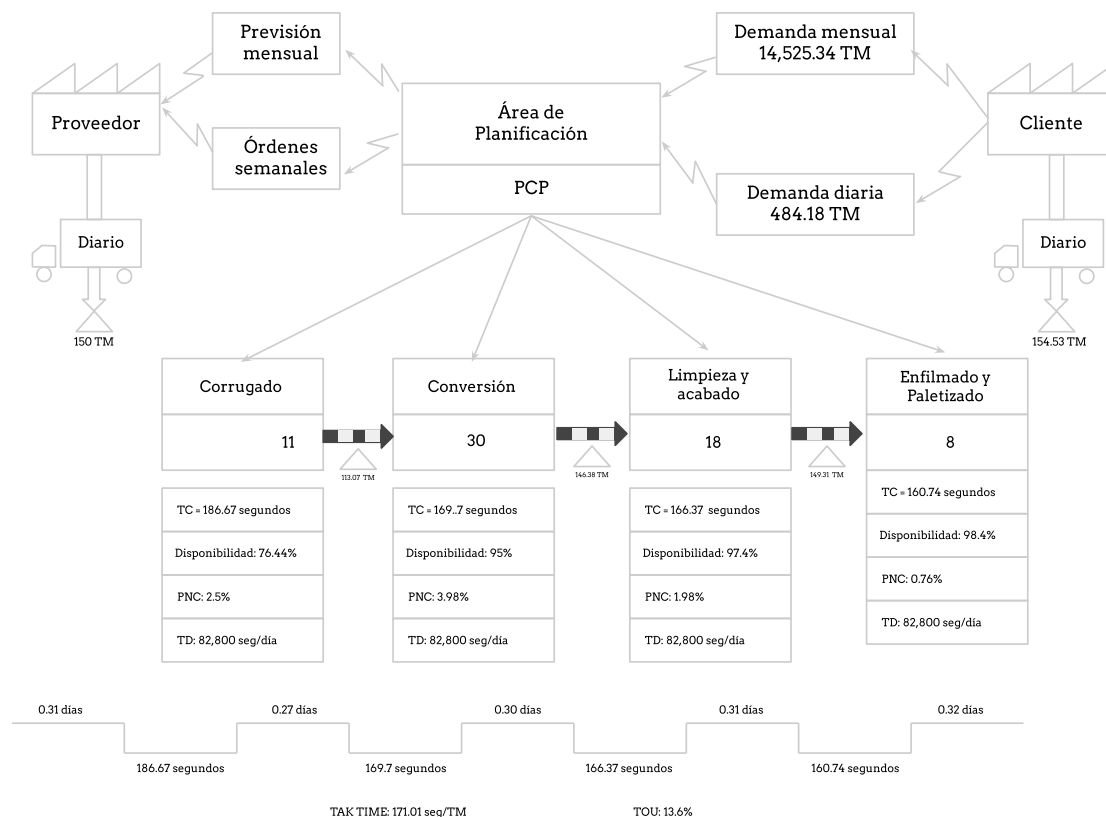


## Situación inicial

La presente investigación inicia el desarrollo de la herramienta Value Stream Mapping (VSM) identificando las oportunidades de mejora; los datos utilizados se obtuvieron de la base de datos de PC-Topp y SAP, softwares que maneja la empresa.

Gráfica 2

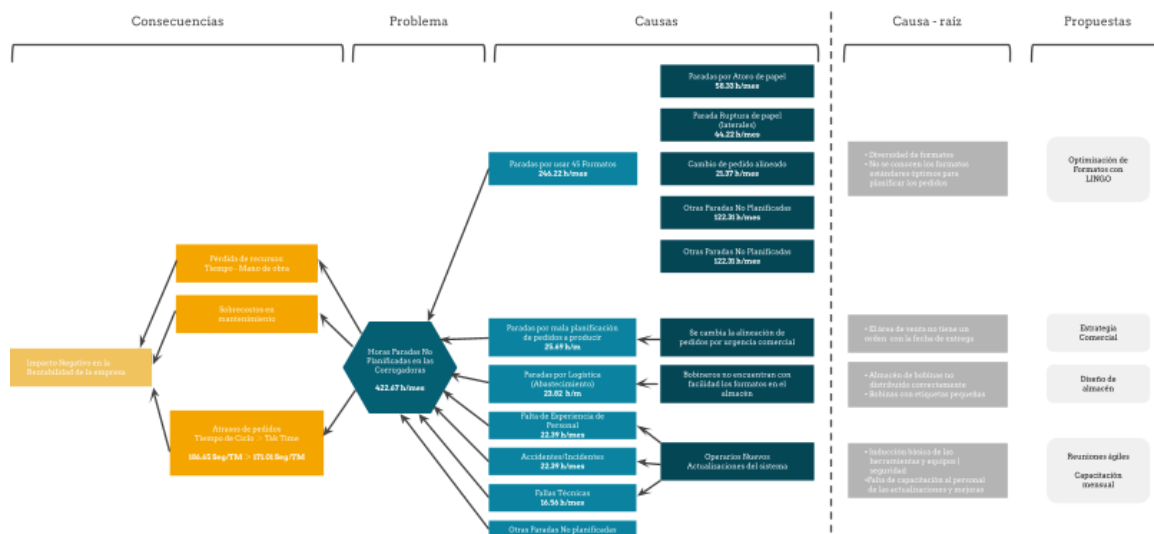
Value Stream Mapping - Situación Inicial



En el VSM, existe un cuello de botella en la actividad de corrugado; ya que el Tiempo de Ciclo es mayor al TAKT TIME (ritmo en el que las unidades deben ser producidas para cumplir con las exigencias de los clientes); lo que quiere decir que existirán retrasos en el cumplimiento de pedidos a los clientes. La siguiente herramienta que utilizar es el Diagrama de Árbol de Problemas en la actividad de corrugado:

Gráfica 3

Eficiencia en relación al porcentaje de remoción de turbidez





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

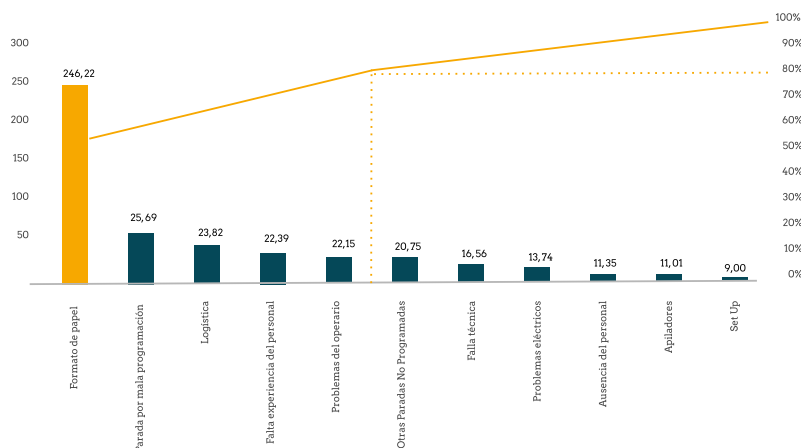
143 - 153



El Árbol de Problemas muestra las causas que originaron las 422.67 h paradas al mes para determinar las causas con más impacto por solucionar se realiza un Diagrama de Pareto.

Gráfica 4

Diagrama de Pareto para las paradas no planificadas en la actividad de corrugado



La causa principal de las 422 h de paradas no planificadas/mes es la diversidad de formatos de papel, a la vez, estos generan 3 282,70 TM de desperdicio al mes.

### Optimización

Identificada la causa relevante, se realiza un Modelo Matemático de Optimización para conocer la cantidad de bobinas (unidad) de cierto formato que se debe producir para reducir las horas paradas y el desperdicio. Por ello, se escoge un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta.

Tabla 1

Formatos de papel que cada corrugadora utiliza

Formatos de cada corrugadora (cm)														
Corrugadora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	135	144	165	172	182	188	196	204	209	214	220	228	236	242
2	140	155	170	175	182	190	200	205	211	218	225	234	241	250
3	46	60	67	73	77	83	87	91	98	105	115	118	122	125

Nota. El software Lingo dará como solución óptima los 5 formatos que cada corrugadora debería utilizar.

Estructura del modelo para optimizar cada corrugadora independientemente:

a) Definición de las variables

$X_i$ : Cantidad de bobinas de papel de formato  $i$  a producir

$Y_i$ :  $\begin{cases} 0: \text{No se fabrica la bobina de formato } i \\ 1: \text{Se fabrica la bobina de formato } i \end{cases}$

b) Función objetivo:

$$MAX Z = \sum_{i=1}^{15} (Ingreso_{(i)} \times X_{(i)} \times Y_{(i)} - Costo\_Prod_{(i)} \times X_{(i)} \times Y_{(i)} - Gasto\_Desperdicio_{(i)} \times X_{(i)} \times Y_{(i)})$$

Las variables y la función objetivo son las mismas para las tres corrugadoras; sin embargo, las restricciones varían:



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

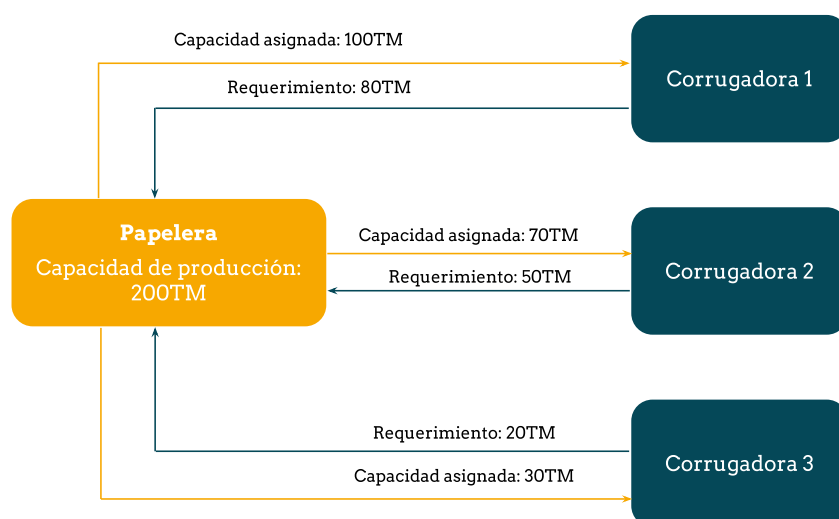
Artículo Científico

143 - 153



Gráfica 5

Restricciones de capacidad y demanda para el modelo de optimización



Restricción

Capacidad de producción de bobinas asignada para cada corrugadora

1:

- Corrugadora 1: Se puede producir máximo 100 TM de papel para esta corrugadora

$$\sum_{i=1}^{15} X_i \times Y_i \times \text{Peso\_Bobina}_i \leq 100 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$$

- Corrugadora 2: Se puede producir máximo 70 TM de papel para esta corrugadora

$$\sum_{i=1}^{15} X_i \times Y_i \times \text{Peso\_Bobina}_i \leq 70 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$$

- Corrugadora 3: Se puede producir máximo 30 TM de papel para esta corrugadora

$$\sum_{i=1}^{15} X_i \times Y_i \times \text{Peso\_Bobina}_i \leq 30 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$$

Restricción 2: Necesidad/Demanda de cada corrugadora

- Corrugadora 1: Se necesita 80 TM de papel para esta corrugadora

$$\sum_{i=1}^{15} X_i \times Y_i \times \text{Peso\_Bobina}_i \geq 80 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$$

- Corrugadora 2: Se necesita 50 TM de papel para esta corrugadora

$$\sum_{i=1}^{15} X_i \times Y_i \times \text{Peso\_Bobina}_i \geq 50 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$$

- Corrugadora 3: Se necesita 20 TM de papel para esta corrugadora

$$\sum_{i=1}^{15} X_i \times Y_i \times \text{Peso\_Bobina}_i \geq 20 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$$

Restricción 3: Cantidad máxima de bobinas a producir para cada formato

- Corrugadora 1: Mínimo producir 5 bobinas de papel por tipo de formato



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

143 - 153



- $X_i$  5 x  $Y_i$   $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$
- Corrugadora 2: Máximo producir 10 bobinas de papel por tipo de formato  
 $X_i$  10 x  $Y_i$   $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$

*Restricción 3: Cantidad máxima de bobinas a producir para cada formato*

- Corrugadora 1: Máximo producir 10 bobinas de papel por tipo de formato  
 $X_i$  10 x  $Y_i$   $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$
- Corrugadora 2: Mínimo producir 5 bobinas de papel por tipo de formato  
 $X_i$  5 x  $Y_i$   $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$
- Corrugadora 3: Mínimo producir 4 bobinas de papel por tipo de formato  
 $X_i$  4 x  $Y_i$   $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$

*Restricción 5: Cantidad de formatos necesarios a realizar para cada corrugadora*

- Corrugadora 1: De 15 formatos a 5 formatos  
 $i=115$ .  $Y_i = 5$   $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$
- Corrugadora 2: De 15 formatos a 5 formatos  
 $i=115$ .  $Y_i = 5$   $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$
- Corrugadora 3: De 15 formatos a 5 formatos  
 $i=115$ .  $Y_i = 5$   $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$

*Restricción 6: Variable entera y variable binaria*

- $X_i$  es entera  $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$
- $Y_i$  es binaria  $\forall i = 1, 2, 3, \dots, 15$

El modelo matemático se realizó de manera independiente para cada corrugadora en el software Lingo debido a las variables limitadas en la versión aprendizaje de estudiante. Los resultados valor objetivo para cada corrugadora son las siguientes:

- Corrugadora 1: Valor Objetivo = S/ 57 276,77 por día
- Corrugadora 2: Valor Objetivo = S/ 47 158,20 por día
- Corrugadora 3: Valor Objetivo = S/ 15 774,06 por día

Asimismo, los formatos óptimos para programar en cada corrugadora son los siguientes:

- Corrugadora 1: en centímetros  
Óptimos: 144, 172, 209, 214, 242
- Corrugadora 2: en centímetros  
Óptimos: 190, 200, 234, 250, 253
- Corrugadora 3: en centímetros  
Óptimos: 60, 77, 91, 122, 130

### **Simulación de los formatos óptimos en el Software Arena**

En el Software Arena se comparan los tiempos de producción de la situación inicial y los tiempos con los formatos óptimos. Para ello, se seleccionaron 105 pedidos que duraron 35 h en el proceso productivo. Posterior a ello, se simuló en arena estos pedidos con los formatos óptimos obteniendo una duración de 10.01 h.

La distribución de los pedidos en las corrugadoras fue de 45 %, 44 % y 11 % respectivamente por el atributo "dimensiones de cajas" que cada corrugadora puede fabricar. Asimismo, cada una tiene una velocidad estándar que varía con el volumen de cajas solicitadas en el pedido.

Con esta simulación se demostró que hay una reducción de 71.43% horas en procesar 105 cajas; sin embargo, se debe simular un mes productivo para considerar todos los pedidos solicitados con sus dimensiones y volúmenes correspondientes. De esta manera, obtener una mayor precisión en el éxito de la optimización.

### **Simulación de escenario de producción con formatos óptimos en el Software Excel**

La simulación del mes productivo (Agosto) se realiza de manera independiente para cada corrugadora obteniendo tres escenarios.





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

143 - 153

OPTIMIZACIÓN DE FORMATOS DE PAPEL DE UNA EMPRESA CARTONERA PARA LA REDUCCIÓN DE HORAS PARADAS Y GASTOS UTILIZANDO UN MODELO PLEM

Gabriel William Valenzuela Llauca

ORCID: 0000-0002-2150-0704

<https://revista.scienceevolution.com/>



En cada escenario se utilizó los formatos óptimos para calcular el desperdicio generado, la cantidad de horas paradas y la utilidad que se generaría con el valor del desperdicio.

Los indicadores para evaluar son la reducción de desperdicio, horas paradas y utilidad (S/) generada. Este escenario es desarrollado con los datos de producción del mes de agosto 2023 en el software Excel porque permite estimar 9 768 clientes como input (datos de entrada) en la operación mientras otros softwares limitan esta cantidad, así como el output de la operación (desperdicio). Los resultados de la simulación del escenario son los siguientes:

**Tabla 2**

Variación de desperdicio utilizando los formatos óptimos

Corrugadora	Desperdicio Inicial (TM/mes)	Desperdicio Optimizado (TM/mes)	Variación de desperdicio %
1	1153, 21	1013, 82	-12, 24%
2	2217, 20	1628, 09	-26, 57%
3	437, 99	271, 25	-38, 07%
<b>Total</b>	<b>2810, 43</b>	<b>2913,16</b>	<b>-23,55%</b>

*Nota.* Si solo se hubieran utilizado los formatos óptimos en el mes de agosto, se hubiera producido 23,55% de desperdicio.

**Tabla 3**

Variación de utilidad utilizando los formatos óptimos

Corrugador	Producción (TM/mes)	Ingreso (S/)	Situación Inicial			Formatos Óptimos			Variación de Utilidad	
			Costo (S/)	Gasto Desperdic io (S/)	Utilidad (S/)	Costo (S/)	Gasto Desperdic io (S/)	Utilidad (S/)		
1	4923,73	5425,99	5205,41	28 881	191 709	5200,26	25 345	200 396	8687	4,53%
2	6217,68	6839,45	6553,65	55 430	230 368	6564,33	40 702	234 41	4045	1,76%
3	1443,89	1588,28	1523,32	10 950	54 009	1526,42	6781	55 081	1072	1,98%
Total	12 594,29	13 853,72	13 282,38	95 261	476 086	13 291,00	72 829	489 890	13 804	2,90%

*Nota.* Si solo se hubieran utilizado los formatos óptimos en el mes de agosto, se hubiera generado una utilidad 2,90% más.

**Tabla 4**

Variación de horas paradas por el problema de diversidad de formatos

Corrugadora	Situación Inicial		Formatos Óptimos		Variación de Horas Paradas %
	Horas Paradas por formato (h/mes)	Horas Paradas por formato (h/mes)	Reducción de Horas (h/mes)		
1	78,72	25,61	53,10		-67,46%
2	116,97	34,94	82,03		-70,13%
3	59,30	18,17	41,22		-69,41%
<b>Total</b>	<b>255,08</b>	<b>78,72</b>	<b>176,35</b>		<b>-69,14%</b>

*Nota.* Con los formatos óptimos, se pudo reducir en 69,14% las horas paradas por diversidad de formatos en las corrugadoras.

**Tabla 5**

Variación de horas paradas totales utilizando formatos óptimos

Corrugadora	Situación Inicial Horas Paradas totales (h/mes)	Optimización Reducción de horas (h/mes)	Formatos Óptimos Horas Paradas Totales (h/mes)	Variación
1	128,45	53,10	75,35	-41,34%
2	193,23	82,03	111,20	-42,45%
3	101,54	41,22	60,32	-40,60%
<b>Total</b>	<b>423,22</b>	<b>176,35</b>	<b>246,87</b>	<b>-41,67%</b>

*Nota.* Las horas paradas totales se hubieran reducido en 41,67% si se hubiera utilizado los formatos óptimos.





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

**4.12**  
OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico  
**143 - 153**

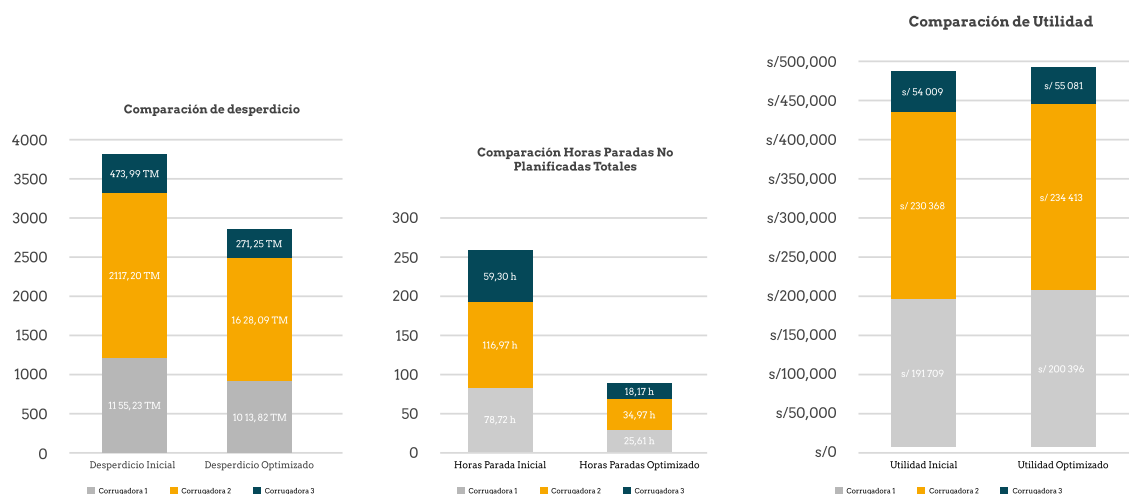
OPTIMIZACIÓN DE FORMATOS DE PAPEL DE UNA EMPRESA CARTONERA PARA LA REDUCCIÓN DE HORAS PARADAS Y GASTOS UTILIZANDO UN MODELO PLEM

**Gabriel William Valenzuela Llauca**  
ORCID: 0000-0002-2150-0704  
<https://revista.scienceevolution.com/>



**Gráfica 6**

Comparación de valores: Desperdicio - Horas Paradas - Utilidad



En las gráficas de la figura 3.5, se visualiza las comparaciones de los indicadores de desperdicio, hora parada no planificada y utilidad.

En la primera comparación, se redujo en 23.55 % de 3810.43 TM a 2 913.16 TM entre las tres corrugadoras al mes. Mientras que, en la segunda comparación, se redujo en 41,67% las horas paradas no planificadas de 433.22 h a 246.87 h entre las tres corrugadoras al mes. Finalmente, en la tercera comparación, la utilidad aumentó en 2.90 % de S/476.08 a S/489.89 al mes.

## DISCUSIÓN

Se escogió la herramienta VSM porque permite visualizar de manera global el proceso productivo detectando los puntos a mejorar como las horas paradas y desperdicio. Al igual que Qhishpe y Arroyo (2021), la herramienta les permitió disminuir los tiempos muertos reduciendo al 100 % los tiempos de espera en el cuello de botella. No obstante, en la presente investigación se redujo en 41.67% las horas de paradas no planificadas en la actividad de corrugado.

Para la optimización de formatos se escogió un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta, ya que a diferencia de la no lineal, se puede optimizar la utilidad y no buscar puntos óptimos. Por un lado, Hamadeh y Hellstrom (2008) analizaron un modelo lineal y uno de algoritmo evolutivo. El modelo evolutivo requiere un desarrollo más complejo del algoritmo, así como un software avanzado. Por otro lado, Acevedo et al. (2003) analizaron el problema del refile o desperdicio cuando se programa cajas en la corrugadora. Evaluaron 7 restricciones en el modelo global con el objetivo de garantizar el flujo de materiales en función de la máquina restrictiva cumpliendo la fecha de entrega del pedido. El modelo No Lineal propuesto creó la posibilidad de disminuir el problema de desperdicio; sin embargo, no ofrece una solución óptima.

Por su parte, Tornadijo (2009) propuso algoritmos genéticos que permitían reducir los cortes mínimos de paños de cartón, y, de esta forma, aprovechar las dimensiones de los paños y hacer mayor cantidad de cajas posibles en un paño. Sin embargo, las imprentas no están diseñadas para poder hacer cortes e imprimir varios colores. Se requiere invertir y evaluar la viabilidad de ese modelo.

Entonces, la diversidad de softwares para resolver un modelo de programación lineal entera permitió la viabilidad de este modelo en esta investigación y demostró que, al igual que la investigación de los autores Medina et al (2020), el modelo de programación lineal de enteros reduce el desperdicio y los gastos.

Cabe destacar que la simulación del escenario con los formatos óptimos se desarrolló en el Software Microsoft Excel, ya que la hoja permite trabajar con varios datos. Asimismo, las diversas fórmulas permiten calcular el desperdicio, horas paradas y la utilidad. Además, este software es accesible a diferencia de otros como Arena, el cual requiere inversión para poder manejar grandes cantidades de datos.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

143 - 153

OPTIMIZACIÓN DE FORMATOS DE PAPEL DE UNA EMPRESA CARTONERA PARA LA REDUCCIÓN DE HORAS PARADAS Y GASTOS UTILIZANDO UN MODELO PLEM

Gabriel William Valenzuela Llauca  
ORCID: 0000-0002-2150-0704  
<https://revista.scienceevolution.com/>



## CONCLUSIONES

Las herramientas VSM, Diagrama de Árbol y Diagrama de Pareto son herramientas de recolección de información e identificación de los problemas. De esta manera, se logró detectar el cuello de botella en la actividad corrugado y sus causas que las generaban, además, los usos de estas herramientas son confiables y sencillas de aplicar.

Los modelos de Programación Lineal Entera Mixta permiten optimizar la actividad de corrugado de una empresa del mercado de cartón conllevando a la reducción de costos y maximizando su utilidad, además son viables, ya que existen diversidad de softwares versiones free o estudiante como LINGO. De esta manera, se cumple el objetivo de la investigación logrando diseñar un modelo matemático que reduce en 23.55 % el desperdicio, 41.68 % las horas paradas no planificadas y aumenta en 2.90 % la utilidad por mes.

El modelo propuesto solo funciona para el tipo de cartón 121 C siempre y cuando exista la disponibilidad de los formatos óptimos; en caso que no haya uno, se generará mayor desperdicio, porque se estará forzando utilizar otro formato más ancho.

Además, se puede optimizar cualquier actividad productiva cuando existe data del proceso a evaluar siendo accesible a ésta, así como la accesibilidad de softwares con herramientas avanzadas. Asimismo, las simulaciones permiten comprobar la efectividad de la optimización.

El mercado de cartón corrugado y papel está en constante evolución, por lo que se podrá optimizar los formatos para todas las líneas de productos. También es importante resaltar que, se debe realizar un modelo de optimización para cada tipo, ya que la demanda es cíclica en la agroindustria por las temporadas de frutas y verduras, así como las temporadas de veda en la industria pesquera.

Aunque, se requiere una inversión para utilizar softwares de simulación como ARENA con la finalidad de acceder a mayor capacidad de análisis de datos, la simulación en Excel permite conocer el escenario de producción con formatos óptimos.

## REFERENCIAS

- Acevedo Lizarazo, N., Carrillo Barrios, A., Paternina-Arboleda, C. D., & Raisch Castilla, J. (2003). Modelo para programación de operaciones en la fabricación de cajas de cartón corrugado. *Ingeniería y Desarrollo*, (13), 24-40. <https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2322>
- Álvarez, A. (2020). Clasificación de las investigaciones [Notas académicas]. Repositorio Institucional ULima. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/10818>
- Amiel, J. (2007). Las variables en el método científico. *Revista de la sociedad y química del Perú*, 73 (3), 171-177. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v73n3/a07v73n3.pdf>
- Castro Sojo, D. (2015). *Diseño de una caja de cartón corrugado y esfuerzos que sufre cuando es sometida a la carga por apilabilidad en los almacenes*. [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPCommons. <http://hdl.handle.net/2117/129496>
- Exactitude Consultancy. (2022). *Mercado de envases corrugados por tipo de producto, tipo de empaque, uso final y región: Tendencias globales y pronósticos de 2022 a 2029*. Recuperado de <https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/3152/mercado-de-empaques-corrugados/>
- Fernández, C. & Baptista, P. (2020). Metodología de la investigación. Mc Graw Hill Education. <https://bit.ly/3OnRwlx>
- Fonseca Núñez, J. E. (2017). *Modelos de Programación Lineal Entera Mixta para la planificación de la producción en artículos con vida útil corta*. [Tesis para obtener el grado de Máster en Ingeniería de Análisis de Datos, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio de la Universidad de Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/89439?show=full>
- Formatos de papel: tamaños y usos más comunes. (2019, 04 de abril). ProPrintWeb. <http://bit.ly/40iCbaq>



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

143 - 153

OPTIMIZACIÓN DE FORMATOS DE PAPEL DE UNA EMPRESA CARTONERA PARA LA REDUCCIÓN DE HORAS PARADAS Y GASTOS UTILIZANDO UN MODELO PLEM

Gabriel William Valenzuela Llauca

ORCID: 0000-0002-2150-0704

<https://revista.scienceevolution.com/>



Hamadeh, A. & Hellstrom, D. (2008). The problem of corrugator sequencing and its impacts in packaging processes. <https://portal.research.lu.se/en/publications/the-problem-of-corrugator-sequencing-and-its-impact-on-packaging->

Hernández, C., Fernández, C. & Baptista, P. (2011). Metodologías de la Investigación. Mc Graw Hill Education. [https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n\\_Sampieri.pdf](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf)

Hernández-Hernández, N. & Garnica-González, J. (2015). Árbol de problemas del Análisis al Diseño y Desarrollo de Productos. Consciencia Tecnológica, (50), 38-46. <https://www.redalyc.org/pdf/944/94443423006.pdf>

International Business Machines Corporation. (2021). ¿Qué es la programación lineal de enteros mixtos?. <https://www.ibm.com/docs/es/icos/12.9.0?topic=programming-what-is-mixed-integer-linear>

Keun, B. & Yoon, T. (2016). Improving it process management through value stream mapping approach: a case study. Journal of Information Systems and Technology Management, 13(3), 389-404. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203249448002>

Leottau Sanmiguel, S. & Rodríguez Noriega, J. C. (2012). Minimización de los costos de desperdicios a través de un algoritmo genético para la distribución de piezas en formatos. Caso de estudio de la empresa FERROCARPINTERÍA FORMAR [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Bolívar]. Repositorio de la Universidad Tecnológica de Bolívar. <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/986#page=1>

Laoyan, S. (2023, 11 de enero). Qué es el principio de Pareto o la regla 80/20. Asana. <https://asana.com/es/resources/pareto-principio-80-20-rule>

López Potosme, R. A. (2017). Algunos problemas clásicos de Optimización Combinatoria: Una propuesta metodológica [Tesis para optar al grado de doctor en matemática aplicada, Universidad Autónoma de Nicaragua-Managua]. Repositorio Institucional UNAN-Managua. <https://repositorio.unan.edu.ni/8824/>

Lucero, S., Marenco, J. & Martínez, F. (2014). An integer programming approach for the 2-schemes strip cutting problem with a sequencing constraint. Optim Eng, 16, 605-632. <https://doi.org/10.1007/s11081-014-9264-8>

Luque, M. (2021). Optimización del trazado de patrones de cortes [Tesis para optar el grado en Ingeniería Informática, Universidad Autónoma de Madrid]. Repositorio de la Universidad Autónoma de Madrid. [https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/698396/luque\\_lopez\\_miguel\\_angel\\_tfg.pdf?sequence=1](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/698396/luque_lopez_miguel_angel_tfg.pdf?sequence=1)

Medina, J., De León, N. & Leiva, J. (2020). La modelación matemática para la optimización de corte de pliegues en una empresa poligráfica. Revista Universidad y Sociedad, 12(1), 121-128. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202020000100121](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000100121)

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2009). Guía de Envases y Embalajes. <http://bit.ly/3FMr2oM>

Paredes, A. (2017). Aplicación de Herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio. Entramado, 13(1), 262-277. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25103>

Quishpe, F. & Arroyo, F. (2021). Análisis y Optimización en la producción de envases de cartón, empleando el Value Stream Mapping. Revista Universidad y Sociedad, 13(3), 536-542. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202021000300536](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000300536)

Infraspeak Team. (2023b, junio 16). Tiempo de parada no planificado: causas, consecuencias y soluciones. Infraspeak Blog. <https://blog.infraspeak.com/es/tiempo-de-parada-no-planificado/>

Tornadijo, T. (2009). Una combinación de algoritmo voraz con algoritmos genéticos para optimizar la producción de cartón ondulado. Revista de Métodos Cuantitativos para la economía y empresa, 8, 71-86. <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2130>

Velasquez, G., Bellini, G. & Paternina-Arboleda, C. (2007). A multi-objective approach based on soft computing techniques for production scheduling in corrugator manufacturing plants. Ingeniería y Desarrollo, 21, 73-92. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85202106>