

# Improvement proposal in the Production and Distribution of Liquefied Petroleum Gas using optimization models

Cristian Patricio Bazán, Ing.<sup>1</sup>, Corina Prado Ortega, Ing.<sup>1</sup>, Renso Beltran Laura, Ing.<sup>1</sup>, Luis Sánchez Cordova, Ing.<sup>1</sup>,  
Jonatan Rojas Polo, Mg.<sup>1</sup> y Steffano Reyes Arteaga<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, a20183795@pucp.edu.pe, a20121303@pucp.pe, a20184187@pucp.edu.pe,  
a20184487@pucp.edu.pe, jrojas@pucp.pe y s.reyes@pucp.pe

*Abstract -- This research took place in a hydrocarbons manufacturing enterprise whose principal activity is the package and sale of Liquefied Petroleum Gas (LPG) in its different presentations: cans of 5Kg, 10Kg, 45Kg and 120Kg of propane, and the sale in bulk. The enterprise is located in the city of Lima, Peru and distributes the propane cans to all the districts on Lima and the neighbor cities of Huacho, Huaral and Barranca.*

*This research wants to formulate and resolve an optimization problem that allows first to maximize the production utilities and then minimize the transportation costs for each propane can from the enterprise to all the places mentioned above, like so to determinate if it is feasible to send the products to Huacho, Huaral and Barranca. The investigation began with a study of the production process that includes the processes of storage of raw material and inputs; painting, weighment, filling and sealing of the cans; and leakage testing. Afterwards, data was collected about fixed costs, variable costs, selling prices and monthly sales volume. For the optimization stage of the products distribution, data was collected about capacities, demands and costs from all the places of destination. Based on the information gathered, two problems of optimization were formulated. Using LINGO software these optimization problems were solved developing a submission to maximize the production earnings and to minimize the transport costs for all the variety of products and for their sub varieties of weights.*

*Keywords– Production process optimization, Distribution systems, Optimization models, Transport networks*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.183>  
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

# Propuesta de mejora en la Producción y Distribución de Gas Licuado de Petróleo usando herramientas de modelos de optimización

Cristian Patricio Bazán, Ing.<sup>1</sup>, Corina Prado Ortega, Ing.<sup>1</sup>, Renso Beltran Laura, Ing.<sup>1</sup>, Luis Sánchez Cordova, Ing.<sup>1</sup>, Jonatan Rojas Polo, Mg.<sup>1</sup> y Steffano Reyes Arteaga<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, a20183795@pucp.edu.pe, a20121303@pucp.edu.pe, a20184187@pucp.edu.pe, a20184487@pucp.edu.pe, jrojasp@pucp.edu.pe y s.reyes@pucp.edu.pe

*Abstract— This research took place in a hydrocarbons manufacturing enterprise whose principal activity is the package and sale of Liquefied Petroleum Gas (LPG) in its different presentations: cans of 5Kg, 10Kg, 45Kg and 120Kg of propane, and the sale in bulk. The enterprise is located in the city of Lima, Peru and distributes the propane cans to all the districts on Lima and the neighbor cities of Huacho, Huaral and Barranca.*

*This research wants to formulate and resolve an optimization problem that allows first to maximize the production utilities and then minimize the transportation costs for each propane can from the enterprise to all the places mentioned above, like so to determinate if it is feasible to send the products to Huacho, Huaral and Barranca. The investigation began with a study of the production process that includes the processes of storage of raw material and inputs; painting, weighment, filling and sealing of the cans; and leakage testing. Afterwards, data was collected about fixed costs, variable costs, selling prices and monthly sales volume. For the optimization stage of the products distribution, data was collected about capacities, demands and costs from all the places of destination. Based on the information gathered, two problems of optimization were formulated. Using LINGO software these optimization problems were solved developing a submission to maximize the production earnings and to minimize the transport costs for all the variety of products and for their sub varieties of weights.*

*Keywords—Production process optimization, Distribution systems, Optimization models, Transport networks*

*Resumen— Esta investigación se desarrolló en una empresa manufacturera de Hidrocarburos cuya actividad principal es el envasado y venta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en sus distintas presentaciones: Balones de 5kg, Balones de 10kg, Balones de 45 kg y Balones de 120 kg y venta a granel. La empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Lima, Perú y distribuye los balones a todos los distritos de Lima y las ciudades de Huacho, Huaral y Barranca.*

*En la presente investigación se busca formular y resolver un problema de optimización que permita en una primera etapa maximizar las utilidades de producción y luego minimizar los costos de transporte por unidad de Balones desde la empresa hasta todos los puntos indicados, así mismo determinar si es factible seguir enviando productos a Huacho, Huaral y Barranca. La investigación se inició con un estudio del proceso de producción que incluye el proceso de almacenamiento de la materia prima e insumos, pintado y pesado de los balones, llenado de los balones, prueba de fuga y tapado de los balones.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.183>  
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

*Posteriormente se desarrolló la recolección de datos de los costos fijos, costos variables, precios de venta y volúmenes de ventas mensuales. Para la etapa de optimización de la distribución de los productos se recolectaron datos de las capacidades, demandas y costos de todos los puntos de destino. En base a la información recolectada se formulan 2 problemas de optimización. Utilizando el software LINGO se resolvieron estos problemas de optimización desarrollando una propuesta para maximizar las utilidades de producción y para minimizar los costos de transporte de todas sus variedades de productos y sus subvariedades de diferentes pesos.*

*Keywords— Optimización de procesos de producción, Sistemas de Distribución, Modelos de Optimización, Redes de Transporte.*

## I. INTRODUCCIÓN

El término gas licuado de petróleo (GLP) se usa para nombrar a hidrocarburos que pueden estar en estado líquido a temperatura ambiente y con presiones no tan elevadas, como es el caso del etano, propano y butano [1]. Estos son usados para diferentes aplicaciones alrededor del mundo, debido a que son estables, contienen gran cantidad de energía, en estado líquido el transporte se puede realizar de manera más económica, se puede emplear tanto en estado gaseoso como líquido, su combustión es limpia y tiene bajos niveles de azufre, siendo estos dos últimos factores favorables para el medio ambiente [1]. En el año 2015, se estima que se consumieron más de 284 millones de toneladas alrededor del mundo, siendo el sector doméstico quien empleó casi la mitad de esta cantidad (44%), seguido por los sectores químico (26%), industrial (12%), transporte (9%), hidrocarburos (específicamente refinería) 8% y agrícola 1% [2]. Dentro del sector doméstico, sus usos más comunes a nivel mundial son para calefacción, cocción de alimentos, mantenimiento del jardín, funcionamiento de termas, así como combustible para almacenar energía en caso de emergencias [3].

En el Perú, de acuerdo con la Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía (ERCUE) del 2018, se pudo identificar que 8 de cada 10 hogares encuestados, emplean al GLP como fuente de energía, destacando que su principal uso es para la cocción de alimentos, y se obtuvo que una mediana de 33 soles para el gasto mensual en los hogares [4], no obstante, en los últimos meses se han reportado alzas en el

## II. ESTADO DEL ARTE

En este punto se detallará los principales conceptos que estructuran la propuesta de metodología.

### A. Investigación de operaciones

El enfoque de Opciones Reales para la toma de decisiones ha sido útil para capturar y valorar la flexibilidad inherente en muchas decisiones operativas que enfrentan los tomadores de decisiones. En Operations Research (OR), un campo que abarca una gran cantidad de técnicas de resolución de problemas para mejorar la toma de decisiones, observamos un aumento constante observable en las contribuciones que aplican el enfoque Real Options para modelar, analizar y evaluar alternativas operativas flexibles disponibles para la decisión productores o para optimizar la eficiencia operativa del tiempo de decisión. Revisamos 164 artículos que aparecieron en cinco revistas OR de renombre internacional en los últimos doce años, y catalogamos los temas principales y las contribuciones donde el enfoque de Opciones Reales ha sido más valioso para la Investigación Operativa. Clasificamos los artículos revisados en seis temas principales e identificamos sus características principales, los enfoques de modelado utilizados, los temas clave y las subcategorías. Además, documentamos las tendencias actuales y sugerimos oportunidades prometedoras para futuras investigaciones [10].

### B. Modelado matemático en la investigación de operaciones

En la investigación de operaciones, el paso más importante este dado por el desarrollo de del modelo matemático, construido a partir de un análisis cuidadoso de la información y las limitaciones del fenómeno de estudio [11]; dicho modelo como una representación de la realidad a través de las relaciones matemáticas tiene por fin último soportar la toma de alguna decisión [12].

El modelo se compone de ecuaciones y desigualdades algebraicas en las cuales se debe describir de la completitud del rango de alternativas dentro de las cuales la decisión será tomada [13].

#### B.1. Modelos de transporte y asignación

La planificación del transporte como fenómeno de toma de decisiones, contempla la existencia de una cantidad de bienes finita a ser transportados y distribuidos a diferentes demandantes de manera óptima, a partir de un determinado criterio.

El mismo modelo nos da la posibilidad de implementación en un contexto de planificación de la producción, en el cual se busca la mejor combinación dentro de una cantidad de productos con ciertas características [14].

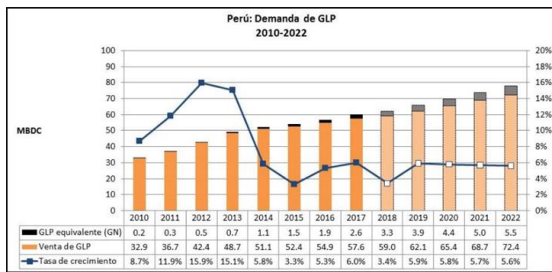


Fig. 1 Demanda de GLP desde el 2010 al 2022

Para el caso de los modelos de asignación, estos introducen la variante de determinar la configuración óptima de las asignaciones de un agente a una tarea, de tal manera que se logre cumplir con el objetivo, ya sea este la minimización de tiempos, costos, o la maximización de las ganancias.

Es posible que los modelos mencionados presenten una cantidad elevada de variables y restricciones, por lo que será necesario la utilización de programas computarizados para encontrar la solución [14].

### B.2. Modelos de redes

Se consideran modelos de red aquellos que se analizan a través de la representación gráfica de una red con el objetivo de encontrar la trayectoria más corta, determinar el flujo máximo a través de la red, o la programación de un proyecto [15]. Generalmente el tránsito por una ruta específica está asociado a costos unitarios, que incluyen, de acuerdo a la situación a ser enfrentada, fletes, valor de un combustible utilizado, costos por el sueldo a ser pagado a un transportista que efectúa la ruta, o peajes [16].

### B.3. Sistemas de producción

Por sistema de producción se refiere a una serie de elementos organizados, relacionados y que interactúan entre ellos, y que van desde las máquinas, las personas, los materiales, e incluso hasta los procedimientos [17]. Todos esos componentes relacionados hacen que las materias primas y la información que intervenga en el proceso, sea transformada y llegue a ser un producto o servicio terminado, teniendo un resultado de calidad, costo y plazo [18].

## III. CASO DE ESTUDIO

Con la finalidad de ejemplificar el uso de varias de las técnicas y metodologías presentadas en la sección anterior, se explicará el siguiente caso de aplicación en la empresa donde se desarrolló la investigación.

### A. Situación actual

En este punto, se describe la empresa, además se detalla un breve diagnóstico para identificar los problemas principales y elaborar el planeamiento de las propuestas de mejora. La empresa busca con ello mejorar su nivel de competitivamente en el mercado, mediante un mayor valor percibido, además de productos reconocidos por su calidad, innovación y precio justo.

#### A.1. Descripción de la Empresa:

La planta envasadora de GLP Extra Gas S.A., ofrece Gas Licuado de Petróleo envasado en sus presentaciones de 5, 10 y 45 kilogramos que cubren un amplio rango de aplicaciones en el uso doméstico, el comercio y la industria. La experiencia de nuestro personal en envasado y comercialización de gas envasado y al granel contribuye desde 1993 al desarrollo de la

micro y pequeña empresa y la industria nacional, mejorando constantemente los procesos productivos de sus clientes a través de una completa gama de aplicaciones del gas licuado de petróleo y el servicio específico adaptado a sus necesidades particulares.

Su ubicación estratégica de la Planta Envasadora, la experiencia en distribución y atención al cliente de sus accionistas y personal permitieron expandirse rápidamente en los mercados de Callao, Ventanilla, Puente Piedra, Ancón; posteriormente, a los conos Norte, Sur y Este de Lima metropolitana; así como a las provincias de Huaral, Huacho, Barranca y Paramonga. En los años 1996 amplió su mercado a las Provincias de Huancayo, Pucallpa y Ayacucho.

La empresa dispone de un área de 1000m<sup>2</sup>. El área administrativa y el área de operaciones de la empresa se encuentran ubicadas en una sola planta. Las oficinas del área administrativa se encuentran en la parte derecha de la planta, mientras que el área de producción se desarrolla en una plataforma situada el medio de toda el área de la planta. En la figura 2, se observa el layout de la empresa.

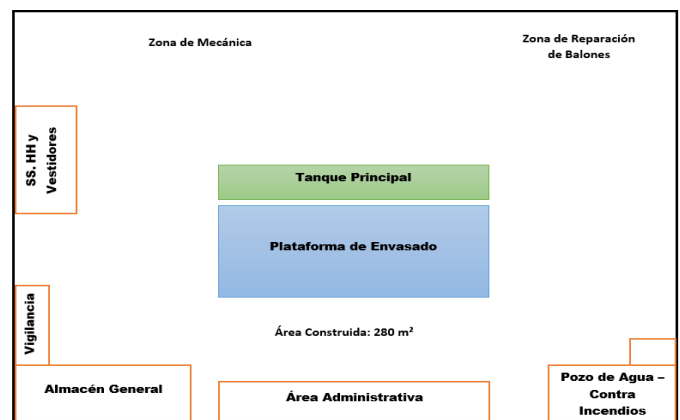


Fig.2 Layout de la empresa

La empresa presenta una estructura jerárquica vertical. En la figura 3 se detalla el organigrama de la empresa.

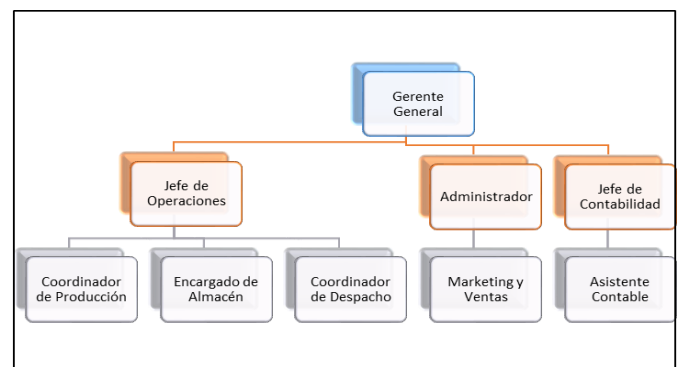


Fig. 3. Estructura Organizacional de la Empresa

**A.2. Productos que comercializa:**

Los productos que produce y distribuye la empresa se diferencian principalmente por el peso envasado. Entre ellos tenemos balones envasados de 5, 10 y 45 Kilogramos.

**A.3. Proceso de producción**

En el proceso de envasado de GLP en los balones, se realizan diferentes operaciones. Entre ellas tenemos:

- **Pintado de los Balones:** Se realiza el pintado de los balones canjeados en los distribuidores, al color característico del producto color verde y logo amarillo.
- **Tara de los Balones:** Se realiza el pesado de los balones sin cantidad de gas alguna, de tal manera que, al realizar el llenado del gas, este sea el más exacto posible.
- **Llenado de los Balones:** Se realiza el llenado de los balones en todas las presentaciones, en 8 estaciones de llenado.
- **Revisión de Fugas**
- **Tapado**

**A.4. Identificación y Priorización de Problemas**

Existe una preocupación en la Gerencia General por la pérdida de algunas ventas, por no contar con el stock suficiente para atender los pedidos. Esto se debe, principalmente, a muchos aspectos tales como la no planificación de la producción, donde es necesario evaluar los insumos, capacidad, etc. y al realizar producción no planificada se incurren en costos muy elevados.

En ese sentido para poder lograr una correcta planificación de la producción se vio la necesidad de implementar un procedimiento de cálculo de pronósticos, esta data en la entrada principal para lograr los demás aspectos de la planificación de la producción como manejo exacto de los inventarios, capacidad, plan agregado, plan maestro, plan de requerimiento de materiales, así mismo realizar el cálculo de la producción óptima y el despacho de tal manera que se minimice los costos de transporte.

La identificación y el análisis de las principales causas ha sido enfocadas en los siguientes problemas:

- a) Falta de tratamiento de datos históricos.
- b) No planificación de la producción.

**B. Propuesta de mejora**

De acuerdo a la literatura de optimización de procesos, se abordará con herramientas de Modelación matemática. Se proponen dos etapas de mejora claramente delimitadas:

- Maximización de utilidades de producción.
- Minimización de los costos de transporte.

**B.1. Maximización de utilidades de producción.**

La empresa en mención no aplica un método de pronóstico, se basaban sencillamente según los pedidos que recibe. En algunos casos podían cumplir con la producción, pero en ciertas ocasiones no por la falta de insumos y otros.

Al no contar con data histórica se procedió a revisar toda la documentación administrativa y contable, de tal manera que se pudo obtener las ventas ejecutadas en los años 2016 y 2017.

**Tabla I**  
Ventas Históricas 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
DEMANDA	31,200	32,500	32,760	31,980	33,800	20,806

	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
DEMANDA	19,675	19,450	21,650	22,080	22,000	26,940

Ventas Historicas 2018

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
DEMANDA	34,100	34,500	33,150	33,280	29,620	26,458

	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
DEMANDA	21,590	20,900	21,980	22,360	23,250	24,680

De manera gráfica podemos observar la figura 4, donde se visualiza una estacionalidad en el comportamiento de las ventas.



**Fig. 4.** Comportamiento de las Ventas Históricas

Según los datos de la tabla I y lo mostrado en la figura 4, se puede observar que las ventas tienen un comportamiento estacional. Por lo tanto, se usará el método estacional para realizar la estimación de las ventas del año 2019.



**Tabla II**  
Ventas Estacionales

Año	Mes	Demanda
Año 1	1	18214
	2	18678
	3	18548
	4	20155
	5	24633
	6	25676
	7	28568
	8	32564
	9	27946
	10	27456
	11	24567
	12	21965
Año 2	13	18596
	14	17345
	15	17088
	16	20080
	17	23560
	18	25675
	19	28620
	20	31560
	21	28246
	22	27562
	23	25894
	24	23646

Se halla un promedio de los 24 datos de demanda y se obtiene un *promedio* de 24,035; con el cual se divide la demanda de cada mes y se obtiene una ratio por mes.

**Tabla III**  
Calculo de ratios por mes

Mes	promedio	Ratio	promedio	Ratio
Enero	24,035	0.76	24,035	0.77
Febrero	24,035	0.78	24,035	0.72
Marzo	24,035	0.77	24,035	0.71
Abril	24,035	0.84	24,035	0.84
Mayo	24,035	1.02	24,035	0.98
Junio	24,035	1.07	24,035	1.07
Julio	24,035	1.19	24,035	1.19
Agosto	24,035	1.35	24,035	1.31
Setiembre	24,035	1.16	24,035	1.18
Octubre	24,035	1.14	24,035	1.15
Noviembre	24,035	1.02	24,035	1.08
Diciembre	24,035	0.91	24,035	0.98

Luego se halla un promedio de las ratios hallados por cada mes (estación) y se obtiene un **promedio 2**

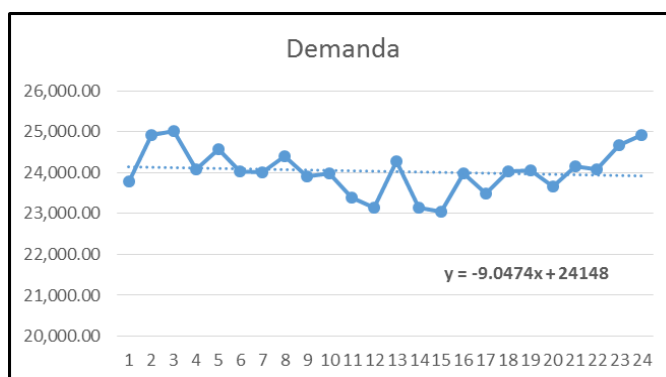
**Tabla IV**  
Calculo del Factor de Estacionalidad

N° Estación	Año 1	Año 2	promedio 2
Estación 1	0.76	0.77	0.77
Estación 2	0.78	0.72	0.75
Estación 3	0.77	0.71	0.74
Estación 4	0.84	0.84	0.84
Estación 5	1.02	0.98	1.00
Estación 6	1.07	1.07	1.07
Estación 7	1.19	1.19	1.19
Estación 8	1.35	1.31	1.33
Estación 9	1.16	1.18	1.17
Estación 10	1.14	1.15	1.14
Estación 11	1.02	1.08	1.05
Estación 12	0.91	0.98	0.95

Con este factor se desestacionaliza la demanda en ambos años y se procede a hallar la tendencia:

**Tabla V**  
Desestacionalización de las ventas históricas

MES	Factor	Desestacionalizado Año 1	Desestacionalizado Año 2
1	0.77	23,785.66	24,284.51
2	0.75	24,924.48	23,145.69
3	0.74	25,019.80	23,050.37
4	0.84	24,079.89	23,990.28
5	1.00	24,570.22	23,499.95
6	1.07	24,035.55	24,034.62
7	1.19	24,013.23	24,056.94
8	1.33	24,411.40	23,658.76
9	1.17	23,906.76	24,163.40
10	1.14	23,988.78	24,081.39
11	1.05	23,403.02	24,667.15
12	0.95	23,149.27	24,920.90



**Fig. 5.** Calculo de la Ecuación de Regresión con datos desestacionalizados

Con esta tendencia de la demanda desestacionalizada y ajustada al factor promedio hallado anteriormente, se halla la demanda de los próximos 12 meses:

**Pronóstico 2019:**

**Tabla VI**

Calculo el pronóstico para el año 2019

Mes	Desestacionalizado Año 3	Factor	Demanda
25	23,921.82	0.77	18,318.26
26	23,912.77	0.75	17,919.84
27	23,903.72	0.74	17,720.62
28	23,894.67	0.84	19,999.98
29	23,885.63	1.00	23,946.66
30	23,876.58	1.07	25,506.18
31	23,867.53	1.19	28,394.67
32	23,858.48	1.33	31,826.42
33	23,849.44	1.17	27,878.99
34	23,840.39	1.14	27,286.16
35	23,831.34	1.05	25,016.62
36	23,822.29	0.95	22,603.60

El pronóstico es importante para que el área de operaciones pueda planificar correctamente los niveles de producción e inventarios. La proporción de la demanda para cada tipo se muestra en la Tabla VII.

**Tabla VII**

Proporción de la demanda por tipo de producto 2019

	10kg	5kg	45kg
Demanda	98%	1.5%	0.5%
Ts	1.2 min	0.7 min	1.8 min
Utilidad Neta	S/ 0.8	S/ 0.8	S/ 6

Por políticas de la empresa es necesario tener 50 balones como stock de seguridad

**Tabla VIII**

Demanda por producto

Mes	Demanda	10kg	5kg	45kg
Enero	18,318.26	17952	275	92
Febrero	17,919.84	17561	269	90
Marzo	17,720.62	17366	266	89
Abril	19,999.98	19600	300	100
Mayo	23,946.66	23468	359	120
Junio	25,506.18	24996	383	128

Se trabaja 8 horas diarias y se permite solo trabajar 2 horas extras como máximo, se determinará el plan de producción para los seis primeros meses

**Variables de Decisión:**

$X_i$  = Cantidad de balones de 10kg elaboradas con capacidad regular en el mes  $i$  ( $i = E, F, Mar, Abr, May, Jn$ ).

$Y_i$  = Cantidad de balones de 5kg elaboradas con capacidad regular en el mes  $i$  ( $i = E, F, Mar, Abr, May, Jn$ ).

$Z_i$  = Cantidad de balones de 5kg elaboradas con capacidad regular en el mes  $i$  ( $i = E, F, Mar, Abr, May, Jn$ ).

$XE_i$  = Cantidad de balones de 10kg elaboradas con capacidad regular en el mes  $i$  ( $i = E, F, Mar, Abr, May, Jn$ ).

$YE_i$  = Cantidad de balones de 5kg elaboradas con capacidad regular en el mes  $i$  ( $i = E, F, Mar, Abr, May, Jn$ ).

$ZE_i$  = Cantidad de balones de 5kg elaboradas con capacidad regular en el mes  $i$  ( $i = E, F, Mar, Abr, May, Jn$ ).

$InvF_i$  = Inventario al final del mes  $i$  ( $i = E, F, Mar, May, Jn$ ).

**Función Objetivo:**

$$\text{MAX } (1 XE + 0.8 XEE + 1YE + 0.8 YEE + 6 ZE + 5.8 ZEE) + (1 XF + 0.8 XEF + 1YF + 0.8 YEF + 6 ZF + 5.8 ZEF) + (1 XMar + 0.8 XEMar + 1YMar + 0.8 YEMar + 6 ZMar + 5.8 ZEMar) + (1 XAbr + 0.8 XEAbr + 1YAbr + 0.8 YEABr + 6 ZAbr + 5.8 ZEAbr) + (1 XMay + 0.8 XEMay + 1YMay + 0.8 YEMay + 6 ZMay + 5.8 ZEMay) + (1 XJn + 0.8 XEJn + 1YJn + 0.8 YEJn + 6 ZJn + 5.8 ZEJn) - 1.5InvFE - 1.5InvFF - 1.5InvFMar - 1.5InvFAbr - 1.5InvFMay - 1.5InvFJn$$

SUBJECT TO

ENERO:

$$XE + XEE - InvFE - DXE = -50$$

$$YE + YEE - DYE = 0$$

$$ZE + ZEE - DZE = 0$$

$$1.2XE + 0.7YE + 1.8 ZE < 24000$$

$$1.2 XEE + 0.7YEE + 1.8 ZEE < 3600$$

$$DXE < 17952$$

$$DYE < 275$$

$$DZE < 92$$

FEBRERO:

$$XF + XEF - InvFF - DXF = -50$$

$$YF + YEF - DYF = 0$$

$$ZF + ZEF - DZF = 0$$

$$1.2XF + 0.7YF + 1.8 ZF < 24000$$

$$1.2 XEF + 0.7YEF + 1.8 ZEF < 3600$$

$$DXF < 17561$$

$$DYF < 269$$

$$DZF < 90$$

MARZO:

$$XMar + XEMar - InvFMar - DXMar = -50$$

$$YMar + YEMar - DYMar = 0$$

$$ZMar + ZEMar - DZMar = 0$$

$$1.2XMar + 0.7YMar + 1.8 ZMar < 24000$$

$$1.2 XEMar + 0.7YEMar + 1.8 ZEMar < 3600$$

$$DXMar < 17366$$

$$DYMar < 266$$

$$DZMar < 89$$

**ABRIL:**  
 $X_{Abr} + X_{EAbr} - Inv_{FAbr} - DX_{Abr} = -50$   
 $Y_{Abr} + Y_{EAbr} - DY_{Abr} = 0$   
 $Z_{Abr} + Z_{EAbr} - DZ_{Abr} = 0$   
 $1.2X_{Abr} + 0.7Y_{Abr} + 1.8 Z_{Abr} < 24000$   
 $1.2 X_{EAbr} + 0.7Y_{EAbr} + 1.8 Z_{EAbr} < 3600$   
 $DX_{Abr} < 19600$   
 $DY_{Abr} < 300$   
 $DZ_{Abr} < 100$

**MAYO**  
 $X_{May} + X_{EMay} - Inv_{FMay} - DX_{May} = -50$   
 $Y_{May} + Y_{EMay} - DY_{May} = 0$   
 $Z_{May} + Z_{EMay} - DZ_{May} = 0$   
 $1.2X_{May} + 0.7Y_{May} + 1.8 Z_{May} < 24000$   
 $1.2 X_{EMay} + 0.7Y_{EMay} + 1.8 Z_{EMay} < 3600$   
 $DX_{May} < 23468$   
 $DY_{May} < 359$   
 $DZ_{May} < 120$

**JUNIO:**  
 $X_{Jn} + X_{EJn} - Inv_{FJn} - DX_{Jn} = -50$   
 $Y_{Jn} + Y_{EJn} - DY_{Jn} = 0$   
 $Z_{Jn} + Z_{EJn} - DZ_{Jn} = 0$

$1.2X_{Jn} + 0.7Y_{Jn} + 1.8 Z_{Jn} < 24000$   
 $1.2 X_{EJn} + 0.7Y_{EJn} + 1.8 Z_{EJn} < 3600$

$DX_{Jn} < 24996$   
 $DY_{Jn} < 383$   
 $DZ_{Jn} < 128$

**RANGO DE EXISTENCIA**  
 $X_i, Y_i, Z_i, X_{Ei}, Y_{Ei}, Z_{Ei}, Inv_{Fi} > 0$

**B.2. Minimización de los costos de transporte.**

La empresa, cuenta con los siguientes centros de distribución localizados en los siguientes distritos; puente piedra, ventanilla, ancón, los olivos, comas, san juan de Lurigancho, villa maría del triunfo, san Martín de Porres, san juan de Miraflores, según muestra la tabla IX.

**Tabla IX**  
Demanda y Costos por Destino

Origen/Destino	Puente Piedra	Ventanilla	Ancón	Los Olivos	Comas
Balón de 10kg	0.25	0.25	0.25	0.3	0.28
Balón de 5kg	0.25	0.25	0.25	0.3	0.28
Balón de 45kg	0.25	0.25	0.25	0.3	0.28
<b>Demanda</b>	<b>9,874</b>	<b>8,964</b>	<b>4,996</b>	<b>11,890</b>	<b>13,500</b>

Origen/Destino	San juan de Lurigancho	Villa maria del Triunfo	San Martín de Porres	San Juan de Miraflores	Oferta
Balón de 10kg	0.48	0.48	0.28	0.45	111,845
Balón de 5kg	0.48	0.48	0.28	0.45	1,852
Balón de 45kg	0.48	0.48	0.28	0.45	371
<b>Demanda</b>	<b>17,865</b>	<b>18,256</b>	<b>20,548</b>	<b>8,175</b>	<b>114,068</b>

**Variables de Decisión:**

- X<sub>11</sub>: Cantidad de Balones de 10kg a enviar a Puente Piedra
- X<sub>12</sub>: Cantidad de Balones de 10kg a enviar a Ventanilla
- X<sub>13</sub>: Cantidad de Balones de 10kg a enviar a Ancón
- X<sub>14</sub>: Cantidad de Balones de 10kg a enviar a Los Olivos
- X<sub>15</sub>: Cantidad de Balones de 10kg a enviar a Comas
- X<sub>16</sub>: Cantidad de Balones de 10kg a enviar a SJL
- X<sub>17</sub>: Cantidad de Balones de 10kg a enviar a VMT
- X<sub>18</sub>: Cantidad de Balones de 10kg a enviar a SMP
- X<sub>19</sub>: Cantidad de Balones de 10kg a enviar a SJM

- X<sub>21</sub>: Cantidad de Balones de 5kg a enviar a Puente Piedra
- X<sub>22</sub>: Cantidad de Balones de 5kg a enviar a Ventanilla
- X<sub>23</sub>: Cantidad de Balones de 5kg a enviar a Ancón
- X<sub>24</sub>: Cantidad de Balones de 5kg a enviar a Los Olivos
- X<sub>25</sub>: Cantidad de Balones de 5kg a enviar a Comas
- X<sub>26</sub>: Cantidad de Balones de 5kg a enviar a SJL
- X<sub>27</sub>: Cantidad de Balones de 5kg a enviar a VMT
- X<sub>28</sub>: Cantidad de Balones de 5kg a enviar a SMP
- X<sub>29</sub>: Cantidad de Balones de 5kg a enviar a SJM

- X<sub>31</sub>: Cantidad de Balones de 45kg a enviar a Puente Piedra
- X<sub>32</sub>: Cantidad de Balones de 45kg a enviar a Ventanilla
- X<sub>33</sub>: Cantidad de Balones de 45kg a enviar a Ancón
- X<sub>34</sub>: Cantidad de Balones de 45kg a enviar a Los Olivos
- X<sub>35</sub>: Cantidad de Balones de 45kg a enviar a Comas
- X<sub>36</sub>: Cantidad de Balones de 45kg a enviar a SJL
- X<sub>37</sub>: Cantidad de Balones de 45kg a enviar a VMT
- X<sub>38</sub>: Cantidad de Balones de 45kg a enviar a SMP
- X<sub>39</sub>: Cantidad de Balones de 45kg a enviar a SJM

**Función Objetivo:**

$$\begin{aligned}
 \text{Min } & 0.25X_{11} + 0.25X_{12} + 0.25X_{13} + 0.3X_{14} + \\
 & 0.28X_{15} + 0.48X_{16} + 0.48X_{17} + 0.28X_{18} + \\
 & 0.45X_{19} + 0.25X_{21} + 0.25X_{22} + 0.25X_{23} + 0.3X_{24} \\
 & + 0.28X_{25} + 0.48X_{26} + 0.48X_{27} + 0.28X_{28} + \\
 & 0.45X_{29} + 0.25X_{31} + 0.25X_{32} + 0.25X_{33} + 0.3X_{34} \\
 & + 0.28X_{35} + 0.48X_{36} + 0.48X_{37} + 0.28X_{38} + \\
 & 0.45X_{39}
 \end{aligned}$$

SUBJECT TO

- $X_{11} + X_{21} + X_{31} > 9874$
- $X_{12} + X_{22} + X_{32} > 8964$
- $X_{13} + X_{23} + X_{33} > 4996$
- $X_{14} + X_{24} + X_{34} > 11890$
- $X_{15} + X_{25} + X_{35} > 13500$
- $X_{16} + X_{26} + X_{36} > 17865$
- $X_{17} + X_{27} + X_{37} > 18256$
- $X_{18} + X_{28} + X_{38} > 20548$
- $X_{19} + X_{29} + X_{39} > 8175$

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} < 111845$$



$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} < 1852$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} < 371$$

RANGO DE EXISTENCIA

$$X_{3i}, X_{2i}, X_{1i} > 0$$

#### IV. RESULTADOS

A continuación, se detalla los resultados obtenidos de la modelación matemática.

##### *Maximización de Utilidades*

- Se deberá producir en el mes de enero 17902 balones de 10kg, 275 balones de 5kg y 92 balones de 45kg para obtener una utilidad neta de 18674 soles.
- Se deberá producir en el mes de febrero 17511 balones de 10kg, 269 balones de 5kg y 90 balones de 45kg para obtener una utilidad neta de 14785 soles.
- Se deberá producir en el mes de marzo 17316 balones de 10kg, 266 balones de 5kg y 89 balones de 45kg para obtener una utilidad neta de 14559 soles.
- Se deberá producir en el mes de abril 19550 balones de 10kg, 300 balones de 5kg y 100 balones de 45kg para obtener una utilidad neta de 16480 soles.
- Se deberá producir en el mes de mayo 19790 balones de 10kg, 359 balones de 5kg y 0 balones de 45kg para obtener una utilidad neta de 16119 soles.
- Se deberá producir en el mes de junio 19776 balones de 10kg, 383 balones de 5kg y 0 balones de 45kg para obtener una utilidad neta de 16127 soles.

##### *Minimización de Costos de Transporte*

- Se deberá enviar 9 874 balones de 10kg a Puente Piedra.
- Se deberá enviar 8 964 balones de 10kg a Ventanilla.
- Se deberá enviar 4 996 balones de 10kg a Ancón.
- Se deberá enviar 11 890 balones de 10kg a Los Olivos.
- Se deberá enviar 13 500 balones de 10kg a Comas.
- Se deberá enviar 17 865 balones de 10kg a SJL.
- Se deberá enviar 16 033 balones de 10kg a VMT.
- Se deberá enviar 20 548 balones de 10kg a SMP
- Se deberá enviar 8 175 balones de 10kg a SJM.
- Se deberá enviar 1 852 balones de 5kg a VMT
- Se deberá enviar 371 balones de 45kg a VMT
- El costo total de este envió semestral es de 40075 soles.

#### V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis de la información tratada, se plantean dos modelos de optimización y se proponen alternativas complementarias para el mejoramiento de sus actividades: la

maximización de utilidades de producción y la minimización de los costos de transporte. A partir de la solución de estos modelos con el software LINDO, se recomienda la aplicación de los resultados expuestos en este trabajo que garantizarían una utilidad total de S/ 121,865 para la maximización de utilidades de producción en el primer semestre del año y un costo mínimo de transporte de S/. 40,075 soles.

#### REFERENCIAS

- [1] American Society for Testing and Materials (2003). Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance and Testing.
- [2] Argus Media (2016). Statistical Review of Global LPG 2016. World LPG Association. Publicado el 26 de septiembre de 2016. Revisado el 28 de octubre de 2018. <https://www.wlpga.org/publication/statistical-review-global-lpg-2016/>
- [3] World LPG Association. Revisado el 15 de diciembre de 2018. Recuperado de <https://www.wlpga.org/about-lpg/applications/at-home/>
- [4] Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería (2018). Informe de Resultados Consumo y Usos de los Hidrocarburos Líquidos y GLP Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía – ERCUE 2018. [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/ERCUE/ERCUE-Hidrocarburos-Informe-2018-GPAE-OS.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/ERCUE/ERCUE-Hidrocarburos-Informe-2018-GPAE-OS.pdf)
- [5] Gestión (2018). SPGL: Precios de balón de gas son altos debido a informalidad. Publicado el 09 de agosto de 2018. Revisado el 28 de diciembre de 2018. <https://gestion.pe/economia/spgl-precios-balon-gas-son-altos-debido-informalidad-241002>
- [6] Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería (2015). La Industria de los Hidrocarburos Líquidos en el Perú 20 años de aporte al desarrollo del país. [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca\\_osinergmin/estudios\\_economicos/libros](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca_osinergmin/estudios_economicos/libros)
- [7] Gestión (2019). OPECU: Usuarios habrían pagado S/. 1,225 millones de más por el balón de gas en el 2018. Publicado el 31 de enero de 2019. Revisado el 10 de enero de 2019. <https://gestion.pe/economia/opecu-usuarios-habrian-pagado-s-1-225-millones-balon-gas-2018-257432>
- [8] Gestión (2018). ¿Cómo se compone el precio de un balón de gas? Publicado 09 de agosto de 2018. Revisado el 15 de febrero de 2019. <https://gestion.pe/economia/compone-precio-balon-gas-241015>
- [9] COMEXPERU. El mercado del gas licuado de petróleo (GLP). <https://semanariocomexperu.wordpress.com/el-mercado-del-gas-licuado-de-petroleo-glp/> Último acceso el 05 de Julio del 2018.
- [10] Trigeorgis, L., Tsekrekos, A.: Real Options in Operations Research: A Review. European Journal of Operational Research. Volume 270, Pages 1-24, October (2018).
- [11] Maynard Kong (2010). “Investigación de operaciones: Programación lineal, Problemas de transporte y Análisis de redes”.
- [12] Iris Abril Martínez Salazar Gastón Vértiz Camarón Jesús Fabián López Pérez Guillermo Jiménez Lozano Luis Antonio Moncayo Martínez Marco Antonio Montufar Benítez Eva Selene Hernández Gress (2014). Investigación de operaciones.
- [13] Wayne L. Winston L. (2005). Investigación de operaciones: Aplicaciones y Algoritmos. Thompson.
- [14] Frederick S. Hillier & Gerald J. Lieberman (2015). Introducción a la investigación de operaciones.
- [15] David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams, Jeffrey D. Camm, Kipp Martin (2011). Métodos cuantitativos para los negocios.
- [16] G.D. Eppen, F.J. Gould, C.P. Schmidt, J.H. Moore, L.R. Weatherford (2000). Investigación de operaciones en la ciencia administrativa.
- [17] Aguilar, Carlos (2014). Monozukuri: modelo de desarrollo de una red de proveedores (1 edición). Causa & Efecto. page 23.
- [18] Hernández, Richard B. Chase, F. Robert Jacobs, Nicholas J. Aquilano; revisión técnica Rodolfo Torres Matus, Marco Antonio Montufar B., Héctor Horton Muñoz, traductores: Pilar Mascaró Sacristán y Martha Elsa Mauri (2009). Administración de operaciones: producción y cadena de suministros (12.ª edición). México: McGraw-Hill. page 32.