

Optimización de una red de abastecimiento de gas natural licuado

Christian Cornejo Sánchez

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, cscornejo@pucp.edu.pe

Wilmer Atoche Díaz

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, watoche@pucp.edu.pe

Miguel Mejía Puente

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, miguel.mejia@pucp.edu.pe

RESUMEN

El artículo muestra la optimización de recursos (tanques y cisternas) para la red de abastecimiento de gas natural licuado (GNL) a diferentes ciudades de cierta zona del Perú. La red consiste en trasladar desde la planta productora de gas, el GNL en cisternas hacia los tanques ubicados en los puntos de demanda. Este estudio abarca tres tipos de demanda: industrial, residencial y vehicular. Se trabajó con dos modelos, uno de programación lineal y un modelo heurístico para contrastar los resultados en dos escenarios: flota para cada tipo de demanda y una sola flota para la demanda integrada. Los modelos muestran las cantidades de cisternas y tanques al mínimo costo. Finalmente, se verifica la presunción que atender la demanda integrada con una sola flota de camiones es menos costosa que con flotas para cada sector.

Palabras clave: gas natural licuado, cisternas, tanques, programa lineal, heurísticas

ABSTRACT

The paper shows the optimization of resources (tanks and cisterns) for the supply network of liquefied natural gas (LNG) at different cities in a certain area of Perú. The network consist in move the LNG in tanks from the gas production plant to cisterns located at the points of demand. This study includes three types of demand: industrial, residential and vehicular. We worked with two models, one linear programming and heuristic model to contrast the results in two scenarios: a cisterns fleet for each type of demand and a single fleet to integrated demand. The models shows the quantities of tanks and cisterns for each type of business units in the two scenarios, at minimum cost. Finally, the demand with a single fleet of tanks is less expensive than fleets for each sector presumption is verified.

Keywords: liquefied natural gas, cisterns, tanks, linear programming, heuristics

1. INTRODUCCIÓN

El gas natural es una sustancia compuesta principalmente por metano (alrededor del 90%), que cuando se extrae de los pozos, generalmente contiene 1% de impurezas las cuales se eliminan en las plantas de tratamiento de gas a través de procesos físico-químicos.

En los últimos años, caracterizados por problemas de cambio climático y contaminación generada por la industria, el gas natural ha incrementado su relevancia como combustible sustituto del petróleo porque su combustión es significativamente menos contaminante. Asimismo, en el ámbito económico, el costo total de la extracción y tratamiento del gas natural también es inferior a los del petróleo. Según Bendezú (2009), la instalación del gas en los domicilios en Lima Metropolitana ha generado ahorros significativos, lo que hace presumir que dichos beneficios también alcanzarían a las zonas andinas del Perú, en caso se instale una red de abastecimiento de gas. García et al., (2004) también sostiene el bienestar que generaría el uso del gas natural debido a los ahorros de costos provenientes de la reducción de las tarifas.

El presente trabajo consiste en la optimización de la cantidad de tanques fijos a tierra y cisternas, con el objetivo de minimizar el costo de inversión en tales activos. Los resultados pretenden dar argumentos para calificar la viabilidad económica de la implementación de dicha red para el suministro de gas, la cual contribuiría al incremento del bienestar de la población a través de la reducción de los costos de adquisición del combustible.

2. RED DE GAS NATURAL

La red de gas de este estudio incluye una planta de licuefacción, que transforma el gas natural desde su estado gaseoso al estado líquido a temperaturas muy bajas (-163°C). En la planta, el gas en fase líquida es colocado en cisternas móviles para el transporte hacia los tanques fijos a tierra ubicados en los puntos de demanda que son las cinco ciudades de cierta zona del Perú. Una vez que las cisternas llegan al destino, el gas se descarga hacia el interior de los tanques. Cuando el gas es demandado, se transforma a fase gaseosa nuevamente a través de un vaporizador para ser consumido por la industria, la población y/o el parque automotor. En la figura 1 se grafica la red descrita.

La red tiene una serie de restricciones de demanda que acotan la cantidad de tanques y el número de cisternas. Por otro lado, en las cisternas y tanques ocurre un proceso llamado de *reboiling*, el cual consiste en la permanente transformación del gas en fase líquida a estado gaseoso, y viceversa. Otras especificaciones técnicas propias de la red de abastecimiento de gas natural se detallan a continuación:

- Las cisternas abastecen los tanques según la estimación de la demanda y no según la capacidad total del tanque.
- En total se evalúan cinco ciudades, las que tendrán una flota de cisternas cuyo uso será exclusivo para cada ciudad debido a la gran distancia entre éstas.
- El proceso de *reboiling* es crítico cada 100 horas, éste será el tiempo de referencia usado en los modelos para el reabastecimiento de la demanda. Si bien el modelo se refiere a períodos de tiempo anuales, basta con analizar el ciclo de 100 horas porque este se replica de manera similar en el resto del año.
- Debido al proceso de *reboiling* las cisternas no se pueden llenar sino hasta el 95% de su capacidad para propósitos de seguridad.

3. METODOLOGÍA Y MODELOS

Se indicó que este trabajo tiene como objetivo determinar la cantidad de tanques fijos a tierra y cisternas, con el objetivo de minimizar el costo de inversión en estos activos. Para fines del diseño del modelo, se ha identificado tres tipos de demanda en cada ciudad: una que proviene de la industria, a la que llamaremos sector 1; la que consume las viviendas, a la que denominaremos sector 2, y la que requiere los vehículos, a saber sector 3.

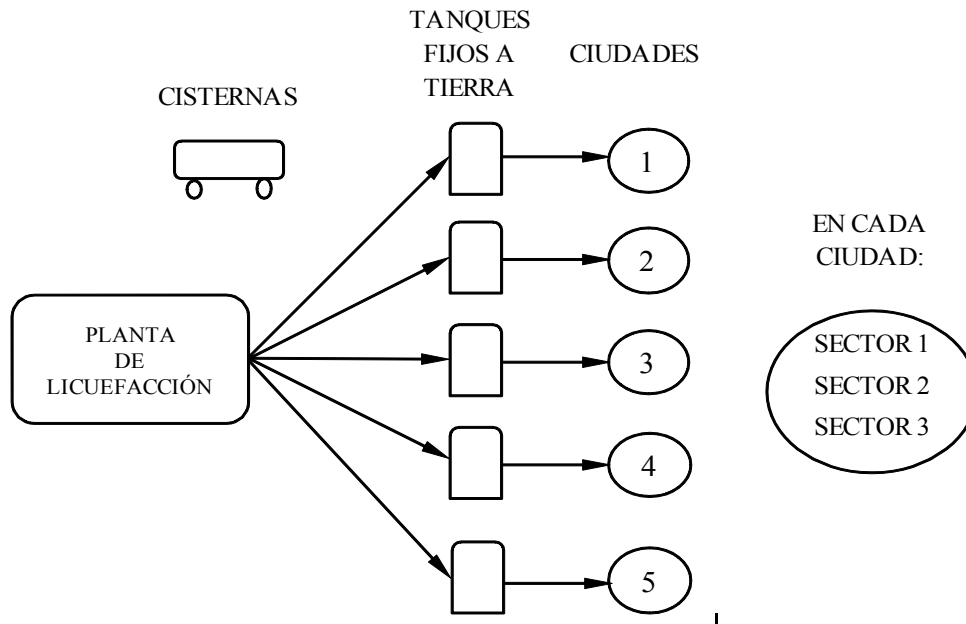


Figura 1. Red de abastecimiento de gas natural licuado

El trabajo se estructuró de la siguiente manera: se evaluó dos escenarios y en cada uno se aplicó dos modelos matemáticos diferentes. El primer escenario evalúa para cada ciudad, la cantidad y costos de tres flotas de cisternas, una para cada sector. Dicha separación anula la posibilidad de que la flota de un sector i abastezca a otro sector j en la misma ciudad. El segundo escenario evalúa lo mismo para cada ciudad pero con una sola flota de cisternas para abastecer la demanda integrada (sumada) de los tres sectores. En cada escenario los modelos fueron, uno de programación lineal y otro con enfoque heurístico; ambos se aplicaron a las cinco ciudades individualmente. Finalmente, el estudio muestra los resultados para la toma de decisiones.

Como hipótesis se presume que en cada ciudad, el costo total de la inversión con flota única para los tres sectores es menor que con flotas exclusivas para cada sector.

3.1 MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Para cada una de las cinco ciudades analizadas y en ambos escenarios se planteó un modelo de programación lineal, esto conforme al requerimiento técnico el cual indica que la flota de cisternas de una ciudad no visitaría a otra debido a la elevada distancia que las separa. A continuación se explica la formulación del modelo.

Variables de decisión

Para el primer escenario:

$COMTANQUE_{ijk}$: cantidad de tanques fijos a tierra de capacidad j a comprar en el año k , para el sector i

$TOTTANQUE_{ijk}$: total de tanques fijos a tierra de capacidad j en el año k , disponibles para el sector i

$COMCIS_{ik}$: cantidad de cisternas (camiones) para el sector i a comprar en el año k

$TOTCIS_{ik}$: total de cisternas (camiones) para el sector i disponibles en el año k

Para el segundo escenario:

$COMTANQUE_{ijk}$: cantidad de tanques fijos a tierra de capacidad j a comprar en el año k , para el sector i

$TOTTANQUE_{ijk}$: total de tanques fijos a tierra de capacidad j en el año k , disponibles para el sector i

$COMCIS_k$: cantidad de cisternas (camiones) a comprar en el año k

$TOTCIS_k$: total de cisternas (camiones) disponibles en el año k

Donde:

$i=1,2,3$; representan al sector 1, sector 2 y sector 3 respectivamente

$j=1$; es el tanque fijo a tierra cuya capacidad es $25\ 000\ m^3$ de gas ($42\ m^3$ de gas en fase líquida)

j=2; es el tanque fijo a tierra cuya capacidad es 35 000 m³ de gas (58 m³ de gas en fase líquida)
j=3; es el tanque fijo a tierra cuya capacidad es 52 000 m³ de gas (87 m³ de gas en fase líquida)
k = 1,2,3...10; porque el horizonte de evaluación es 10 años

Función objetivo

Minimizar la inversión o costo total (CT) de compra de los tanques fijos a tierra y de las cisternas, en dólares americanos.

Para el primer escenario:

$$\text{Min CT} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{10} (\text{COSTOTANQUE}_j) * (\text{COMTANQUE}_{ijk}) + \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^{10} (\text{COSTOCIS}) * (\text{COMCIS}_{ik})$$

Para el segundo escenario:

$$\text{Min CT} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{10} (\text{COSTOTANQUE}_j) * (\text{COMTANQUE}_{ijk}) + \sum_{k=1}^{10} (\text{COSTOCIS}) * (\text{COMCIS}_k)$$

Donde los parámetros son:

COSTOTANQUE_j: es el costo del tanque fijo a tierra cuya capacidad es j

COSTOCIS: es el costo de una cisterna

Restricciones

Este programa lineal es de naturaleza intertemporal porque la cantidad de tanques adquiridos e instalados para abastecer la demanda en cierto período k, abastecerán también la demanda del siguiente período k+1 junto con los tanques adquiridos en k+1.

Para tal fin, un primer grupo de restricciones indica que el total de tanques en uso en cierto período k, es la suma del total de tanques en uso del período anterior k-1 más la compra de tanques en el período k. El segundo grupo de restricciones asegura para cada uno de los tres sectores, que el volumen del total de tanques instalados para cada sector en el período k debe ser mayor que la demanda. Ambos grupos de restricciones se presentan a continuación.

Para ambos escenarios:

$$\sum_{j=1}^3 \text{TOTTANQUE}_{ijk} = \text{TOTTANQUE}_{ijk-1} + \text{COMTANQUE}_{ijk} ; k=1,2,\dots,10 ; i=1,2,3$$

$$\sum_{j=1}^3 (\text{VOLTANQUE}_j) * (\text{TOTTANQUE}_{ijk-1} + \text{COMTANQUE}_{ijk}) \geq D_{ki} ; k=1,2,\dots,10 ; i=1,2,3$$

Donde los parámetros son:

VOLTANQUE_j: es el volumen del tanque al 95% de su capacidad j, en m³ de gas

D_{ik}: es la demanda del sector i en el año k, en m³ de gas cuyos niveles por año se presentan en la figura 2.

Las restricciones anteriores son las mismas en los dos escenarios porque la instalación de los tanques no depende de la cantidad de cisternas, sino, exclusivamente de la demanda.

Para las cisternas el enfoque también es intertemporal. En ambos escenarios las siguientes restricciones reflejan que el total de cisternas en uso en cierto período k, es la suma del total de cisternas en uso del período anterior k-1 más la compra de cisternas en el período k, como se muestra a continuación.

Para el primer escenario:

$$\text{TOTCIS}_{ik} = \text{TOTCIS}_{ik-1} + \text{COMCIS}_{ik} ; i=1,2,3 ; k=1,2,\dots,10$$

Para el segundo escenario:

$$\text{TOTCIS}_k = \text{TOTCIS}_{k-1} + \text{COMCIS}_k ; k=1,2,\dots,10$$

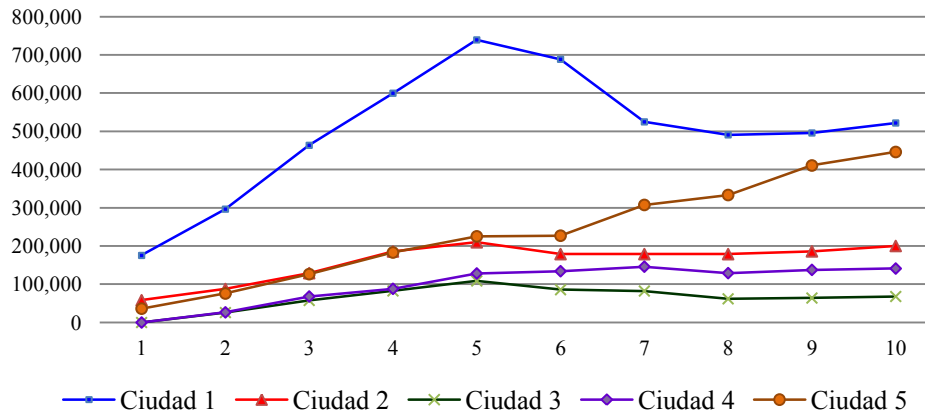


Figura 2. Demanda de gas natural licuado en m³ en los 10 años

Nótese que en el segundo escenario, las restricciones no refieren al sector i porque se integran los tres sectores en uno solo.

Las siguientes restricciones aseguran para el primer escenario, que el volumen total de cisternas que abastecen cada sector, en cierto período k , es mayor que la demanda de cada sector en tal período.

Para el primer escenario:

$$(\text{VOLCIS}) * (\text{TOTCIS}_{ik-1} + \text{COMCIS}_{ik}) \geq D_{ik} \quad ; \quad i=1,2,3 \quad ; \quad k=1,2,\dots,10$$

Finalmente, en el segundo escenario, para que el volumen total de cisternas que abastecen a los tres sectores a la vez en cierto período k , sea mayor que la demanda sumada de los tres sectores en dicho período, se planteó las siguientes restricciones:

Para el segundo escenario:

$$(\text{VOLCIS}) * (\text{TOTCIS}_{k-1} + \text{COMCIS}_k) \geq \sum_{i=1}^3 D_{ik} \quad ; \quad k=1,2,\dots,10$$

Donde los parámetros son:

VOLCIS: es el volumen de la cisterna al 95% de su capacidad total, en m³ de gas

Rango de existencia

Todas las variables son no negativas y enteras.

3.2 MODELO CON BASE EN HEURÍSTICAS

Según Eppen (2000) un algoritmo heurístico proporciona de manera eficiente soluciones aproximadas y satisfactorias a un modelo determinado, asimismo, los cálculos de estos algoritmos tienen una lógica basada en reglas prácticas o métodos empíricos.

En el presente estudio, el segundo modelo se basa en cálculos heurísticos implementados en una hoja de cálculo; según Taha (1992) con este tipo de modelos no se tiene la garantía que la solución resultante sea la óptima, sin embargo, se diseñó un modelo de esta naturaleza con el propósito de explorar otras soluciones razonablemente buenas y para luego contrastarlas con los resultados del programa lineal formulado. En el modelo heurístico se distinguen claramente dos etapas que a continuación se explican.

3.2.1 ETAPA 1

Consiste en calcular el número de tanques fijos a tierra bajo el objetivo de minimización de su costo de

adquisición. Las reglas prácticas usadas en esta etapa del modelo heurístico son las siguientes:

Para el sector 1:

El modelo contempla la posibilidad de seleccionar tanques de 42 m^3 , 58 m^3 y 87 m^3 ; el algoritmo consiste en:

- Se calcula el volumen de dos, tres tanques y así hasta diez; cada uno de 42 m^3 .
- Para cada cantidad de tanques de 42 m^3 calculados en el paso anterior, se determina la cantidad mínima de tanques de 58 m^3 cuyo volumen total sea igual o superior al volumen total de los tanques de 42 m^3 . Un cálculo similar y con el mismo criterio se efectúa para el tanque de 87 m^3 , y luego para las combinaciones de tanques de 58 m^3 y 87 m^3 .
- Para cada una de las combinaciones se calcula su costo y se elabora un cuadro resumen del cual se selecciona las combinaciones de tanques de menor costo y que cubren la demanda del sector 1.
- Se determina la demanda máxima en el horizonte de 10 años y cuál sería la cantidad de tanques de 42 m^3 suficientes para cubrir la demanda.
- Se busca en el cuadro resumen de combinaciones dicha cantidad de tanques de 42 m^3 , luego se ubica y selecciona la combinación equivalente de tanques de los tres volúmenes indicados con menor costo. Tal combinación será la mejor solución para el sector 1.

Para el sector 2:

- Se determina la demanda máxima del sector en el horizonte de 10 años.
- Como la demanda es sustancialmente menor que la del sector 1, el modelo presume que será suficiente con instalar exclusivamente tanques de 42 m^3 para abastecer la demanda máxima del sector 2.

Para el sector 3:

- Se determina la demanda máxima del sector en el horizonte de 10 años.
- Debido a que la demanda del sector 3 es mayor que la del sector 2, pero inferior a la demanda del sector 1, el modelo presume que será suficiente con instalar exclusivamente tanques de 58 m^3 para abastecer la demanda máxima del sector 3.

Las reglas expuestas se aplican indistintamente a los dos escenarios, sin embargo, en el primero las reglas se aplican a la demanda de cada sector, y en el segundo se aplican a la suma de la demanda de los tres sectores.

3.2.2 ETAPA 2

Consiste en calcular el número de cisternas móviles bajo el objetivo de minimización de su costo de adquisición, pero que abastecen la demanda estimada. Las reglas prácticas usadas en esta etapa son:

- Para cada ciudad, se calcula la cantidad de viajes completos que puede realizar una cisterna en el ciclo de *reboiling* de 100 horas. Un viaje completo abarca desde la planta de licuefacción hasta la ciudad y el retorno a la planta.
- La cantidad de cisternas se calcula así:
Para cada sector, la demanda del sector i en el ciclo de 100 horas se divide entre el producto del volumen de la cisterna y la cantidad de viajes completos al sector i en el mismo ciclo; el resultado es la cantidad de cisternas.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

El modelo de programación lineal se resolvió con LINGO 11, y el modelo heurístico se diseñó en una hoja de cálculo. Se presenta a continuación los resultados.

4.1 CANTIDAD Y COSTOS DE LOS TANQUES

Primer y segundo escenario

La determinación de la cantidad de tanques es la misma al margen del escenario, es decir, ya sea que la demanda se atiende con flota de cisternas para cada sector, o con una flota única para los tres sectores, la cantidad de tanques es la misma. Esto porque la instalación de tanques depende de la demanda y no de la cantidad de

cisternas.

Las tablas 1 y 2 muestran para cada ciudad y con ambos modelos el costo total de tanques fijos a tierra necesarios en cada sector para abastecer la demanda.

**Tabla 1: Costo total de tanques por ciudad-sector, en dólares americanos
Por enfoque de programación lineal**

Costo (US\$)					
	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3	Ciudad 4	Ciudad 5
Sector 1	2,210,000	580,000	0	0	1,075,000
Sector 2	460,000	435,000	205,000	615,000	290,000
Sector 3	1,715,000	495,000	520,000	205,000	1,305,000
Total por ciudad	4,385,000	1,510,000	725,000	820,000	2,670,000
Costo total (US\$)	10,110,000				

**Tabla 2: Costo total de tanques por ciudad-sector, en dólares americanos
Por enfoque heurístico**

Costo (US\$)					
	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3	Ciudad 4	Ciudad 5
Sector 1	3,045,000	435,000	0	0	1,305,000
Sector 2	580,000	580,000	290,000	725,000	580,000
Sector 3	1,845,000	615,000	615,000	410,000	1,435,000
Total por ciudad	5,470,000	1,630,000	905,000	1,135,000	3,320,000
Costo total (US\$)	12,460,000				

De las tablas 1 y 2 se determina que el costo total de inversión en tanques obtenido con el modelo de programación lineal es US\$ 2,350,000 menor que el costo del plan de adquisición sugerido por el modelo heurístico.

La comparación de los resultados de las tablas 3 y 4 siguientes, muestra 52 tanques de 42 m³ según el enfoque heurístico, el cual es mayor a los 42 tanques del mismo volumen calculados por programación lineal. Estos resultados se explican por la presunción del modelo el cual indicaba que sería suficiente instalar solo tanques de 42 m³ para el sector 2 de las viviendas, por tanto, la solución se sesga a tanques con dicho volumen.

De manera similar, para el sector 3, se asumió que el volumen de tanque apropiado sería de 58m³ y sólo se instalarían tanques de este tipo en dicho sector. Con esta presunción del enfoque heurístico, éste calculó 24 tanques con tal volumen los que también son mayores que los 15 tanques de 58m³ sugeridos por la programación lineal.

**Tabla 3: Cantidad por tipo de tanques en cada ciudad
Por programación lineal**

	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3	Ciudad 4	Ciudad 5	Total
Tanque de 42 m ³	21	9	0	0	12	42
Tanque de 58 m ³	5	1	2	4	3	15
Tanque de 87 m ³	1	0	1	0	1	3
Total por ciudad	27	10	3	4	16	

**Tabla 4: Cantidad por tipo de tanques en cada ciudad
Por enfoque heurístico**

	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3	Ciudad 4	Ciudad 5	Total
Tanque de 42 m ³	25	7	2	5	13	52
Tanque de 58 m ³	9	3	3	2	7	24
Tanque de 87 m ³	0	0	0	0	0	0
Total por ciudad	34	10	5	7	20	

También se observa de las tablas 3 y 4 que la programación lineal indica adquirir tres tanques de 87 m³, mientras que el modelo heurístico sugiere no adquirirlos.

4.2 CANTIDAD Y COSTOS DE LAS CISTERNAS

Primer escenario

En el primer escenario, ambos modelos arrojan los mismos resultados tanto para la cantidad de cisternas como sus costos totales; tales resultados se observan en las tablas 5 y 6, respectivamente.

**Tabla 5: Cantidad de cisternas por ciudad-sector
Por programación lineal y enfoque heurístico**

	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3	Ciudad 4	Ciudad 5
Sector 1	8	4	0	0	5
Sector 2	2	3	1	5	2
Sector 3	6	3	3	3	6
Total por ciudad	16	10	4	8	13
Total	51				

**Tabla 6: Costo de cisternas por ciudad-sector, en dólares americanos
Por programación lineal y enfoque heurístico**

	Costo (US\$)				
	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3	Ciudad 4	Ciudad 5
Sector 1	2,520,000	1,260,000	0	0	1,575,000
Sector 2	630,000	945,000	315,000	1,575,000	630,000
Sector 3	1,890,000	945,000	945,000	945,000	1,890,000
Total por ciudad	5,040,000	3,150,000	1,260,000	2,520,000	4,095,000
Costo total (US\$)	16,065,000				

Segundo escenario

En este segundo escenario, ambos modelos nuevamente arrojan los mismos resultados tanto para la cantidad de cisternas como sus costos totales, lo cual se observa en las tablas 7 y 8, respectivamente.

**Tabla 7: Cantidad de cisternas por ciudad
Por programación lineal y por enfoque heurístico**

	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3	Ciudad 4	Ciudad 5
Cisternas	15	7	3	7	12
Total de cisternas	44				

**Tabla 8: Costo total de las cisternas por ciudad, en dólares americanos
Por programación lineal y por enfoque heurístico**

	Costo (US\$)				
	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3	Ciudad 4	Ciudad 5
	4,725,000	2,205,000	945,000	2,205,000	3,780,000
Costo total (US\$)	13,860,000				

5. CONCLUSIONES

Los resultados iguales para la cantidad de cisternas y sus costos por ambos enfoques y en los dos escenarios sugieren que las reglas empíricas utilizadas en las heurísticas son apropiadas y conducen para este caso a la solución óptima calculada por la programación lineal. Sin embargo, para el cálculo de los tanques las soluciones son diferentes con un costo menor en US\$2,350,000 favorable a la solución del modelo de programación lineal.

La tabla 9 resume los costos del primer escenario y muestra el importe total de la inversión para la instalación de la red de gas natural licuado:

Tabla 9: Resumen, primer escenario

	Por programación lineal		Por enfoque heurístico	
	Costo (US\$)	Porcentaje	Costo (US\$)	Porcentaje
Tanques	10,110,000	39%	12,460,000	44%
Cisternas	16,065,000	61%	16,065,000	56%
Total	26,175,000	100%	28,525,000	100%

La tabla 10, de manera similar, presenta la información para el segundo escenario:

Tabla 10: Resumen, segundo escenario

	Por programación lineal		Por enfoque heurístico	
	Costo (US\$)	Porcentaje	Costo (US\$)	Porcentaje
Tanques	10,110,000	42%	12,460,000	47%
Cisternas	13,860,000	58%	13,860,000	53%
Total	23,970,000	100%	26,320,000	100%

Finalmente, se concluye de las tablas 9 y 10:

Que para la demanda estimada y usada en estos modelos, el costo total de las cisternas tiene la mayor proporción del importe total de la inversión.

Que el enfoque de programación lineal genera una solución menos costosa que el enfoque heurístico, tal y como se aprecia al contrastar el costo de US\$ 26,175,000 contra US\$ 28,525,000 en el primer escenario; y US\$ 23,970,000 contra US\$ 26,320,000 en el segundo escenario.

Que la presunción del enfoque heurístico de instalar exclusivamente tanques de volumen igual a 42 m³ en el

sector 2 (conjunto de viviendas) y tanques de 58 m³ en el sector 3 (grifos que suministran gas a los vehículos), no conducen a una solución menos costosa. En contraste con estas presunciones, la programación lineal sugiere en todos los sectores la instalación de una variedad de tanques de volúmenes de 42 m³, 58 m³ y 87 m³ (ver tabla 3).

Que la presunción del presente trabajo, de que el abastecimiento de gas natural con flota única para atender la demanda sumada de los tres sectores es menos costoso que abastecer la demanda con flota exclusiva para cada sector, es cierta, ya que el importe del primero es US\$ 23,970,000 y menor que US\$ 26,175,000 cuya diferencia es US\$ 2,205,000. Esto se explica porque la flota para los tres sectores permite que los remanentes de gas en la cisterna luego de que ésta abasteció al tanque, pueda ser depositada en otro tanque ubicado en otro sector de la misma ciudad. Dicho de otra manera, por ejemplo, si una cisterna abastece a un grifo y hay un volumen de gas sobrante en la cisterna, ésta podría depositarlo en un tanque que usan las viviendas.

REFERENCIAS

Bendezú, L. (2009), “Evaluación de Impacto de Gas Natural sobre Consumidores Residenciales” Oficina de Estudios Económicos, OSINERG, pp. 5-24.

Carter, R. J., Price, P. M. y Emmett S.A. (2005), *Stores & Distribution management*, Bromborough: Liverpool Business.

Eppen, G. , Gould, F., Schmidt, C., Moore, J. y Weatherford, L. (2000), *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*, 5^a edición, Prentice Hall, México.

García, R., Vásquez, A. (2004), “La Industria del Gas Natural del Perú” Oficina de Estudios Económicos, OSINERG, pp. 64-65.

Hillier, F. S. y Lieberman, G.J. (2002). *Investigación de operaciones*. Mexico: McGraw-Hill.

Taha, H.A. (1992), *Investigación de Operaciones*, 5ta edición, México D.F.: Alfaomega.

Winston, W. L. (2005). *Investigación de operaciones: Aplicaciones y Algoritmos*, Thomson, México.

Autorización y Renuncia

Los autores, Christian Cornejo, Wilmer Atoche, Miguel Mejía, autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.

Authorization and Disclaimer

Authors, Christian Cornejo, Wilmer Atoche, Miguel Mejía, authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.