

Modelo de Transporte de Aceite Lubricante en una Empresa Minera

Carola Pareja

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Lima, Perú, a20086300@pucp.pe

Ximena Rodríguez

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Lima, Perú, ximena.rodriguez@pucp.pe

Faculty Mentor:

Wilmer Atoche

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

ABSTRACT

The present paper consists of a model which minimizes transportation costs incurred by a mining company to supply three of its mines with lubricant oil. In order to develop the model, a potential transport table between the suppliers and the mines will be proposed. To solve the problem, the "Vogel Approximation Method," followed by the "Modi Method" will be subsequently applied. The routes that minimize the overall cost will then be assigned, according to the capacity of the suppliers and the demand of the three mines. The algorithms' optimum solution provides evidence to support that the mining company should use all the suppliers but not all the routes that are currently used. With this analysis, we could pass on to compare the routes that are suggested to be used with the ones that are actually used. In this way, we would be able to redesign the entire supply chain of lubricant oil currently used by the mining company.

Keywords: Mining company, costs, transportation model, lubricant oil

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la minimización de los costos de transporte incurridos la empresa minera minera para abastecer de aceite lubricante a tres de sus minas. Para ello, se planteará un cuadro tentativo de transporte entre los distintos proveedores, y las diferentes minas. Luego, se aplicará la "Aproximación de Vogel" y el "Algoritmo Modi" para resolver el problema. Finalmente, se determinará cuál es la asignación de rutas más económica para la empresa, de manera que se satisfaga la demanda en las tres minas, y se consuma la oferta de los proveedores. La solución óptima del algoritmo evidenciará que conviene usar todos los proveedores, mas no todas las rutas que se recorren actualmente. Con este análisis, posteriormente se podría comparar la determinación de rutas propuesta con las rutas usadas realmente, y los volúmenes de insumos transportados en ambos casos. De esta manera, se podría rediseñar la red de distribución de insumos.

Palabras claves: Empresa minera, costos, modelo de transporte, aceite lubricante

1. INTRODUCCIÓN

Para el presente estudio, se analizaron los distintos insumos consumidos en tres de las minas de la minera. Al analizar los datos de oferta, demanda y costos unitarios (por lo general en US\$/galón), se observó que los tres clientes estudiados consumían siete tipos de insumos: aceites, aceros de perforación, explosivos y accesorios (de voladura), petróleo y derivados, reactivos industriales, barras/bolas molienda, y finalmente, grasas. A su vez, cada uno de estos "consumibles" tiene subgrupos de diferentes tipos, utilizados por los distintos clientes de la minera. Por ejemplo, para los insumos denominados "aceites lubricantes", se tienen: ACEITE OMALA S2 G68, ACEITE

SHELL MYSELLA LA SAE40, ACEITE RIMULA R4 15 W-40, entre otros. Por lo tanto, para el estudio de los costos de transporte entre los distintos proveedores de dichos aceites, y los tres clientes, se enfocó en el ACEITE OMALA S2 G68, al ser el de mayor valor de consumo en los últimos 12 últimos meses.

Además, un estudio de este tipo le será útil a la minera ya que actualmente no aplica algoritmos para minimizar sus costos de transporte. Esta aplicación tiene aún más relevancia al considerar que el precio del petróleo ha tenido una tendencia de aumento en los últimos 5 años. Teniendo la tendencia del precio de este recurso en mente, y el hecho que la empresa minimizar las distancias de traslado (sobre todo hacia los clientes más lejanos), surge la factibilidad del presente estudio. Al aplicar un algoritmo de minimización de costos de transporte, se podrá incrementar consecuentemente las utilidades de la empresa.

2. MARCO TEÓRICO

En general, los problemas de transporte son un caso especial de los problemas de flujo a costo mínimo. Un problema de transporte se caracteriza por tener un conjunto de puntos m (llamados origen u oferta) que llevan o envían un bien hacia un conjunto de puntos n (llamados destino o demanda). Para poder resolver problemas de transporte, generalmente se hace uso de la llamada tabla de transporte, que muestra de manera ordenada la oferta, la demanda y lo costos unitarios.

Existen varios métodos para determinar una solución factible básica en los problemas de transporte. Uno de ellos es el Método de Vogel. Este modelo usa el concepto de Costo de Oportunidad o Penalización. Esta penalización se calcula para cada columna y fila de la tabla de transporte, y es igual a la diferencia entre los dos costos más pequeños de cada columna y cada fila. Luego se ubica el CO más grande y cuando se ubica la columna o la fila, se busca en ellas la celda con menor costo. A continuación, se comienza a asignar la demanda o la oferta según corresponda. Cada vez que se agote una oferta o se sacie una demanda, se debe cancelar esa fila o esa columna, y volver a recalcular el CO. Se deberán repetir los pasos anteriores, hasta satisfacer todas las demandas.

A continuación, para hallar la solución óptima, se tienen diversas opciones. Una de ellas es el Método de distribución modificada (MODI). Este algoritmo permite obtener casi todos los índices de mejora a la vez. El método consiste en asignarle a cada fila y a cada columna de la tabla de transporte un valor (U_i para las filas y V_j para las columnas). Para hallar los valores, se deberá resolver el sistema de ecuaciones formado por:

$$U_i + V_j = C_{ij} \quad (1)$$

Además, se hace:

$$U_i = O_{ij} \quad (2)$$

Teniendo los valores de U_i y V_j , procedemos a hallar los índices de mejora para todas las variables no básicas. Este índice es igual a:

$$I_{ij} = C_{ij} - U_i - V_j \quad (3)$$

Luego, se procede a introducir la variable que ha originado el índice más negativo, y después de eso se vuelve a realizar todo el procedimiento anteriormente explicado. Esto se repite hasta lograr que todos los índices sean mayores o iguales a cero.

Para hallar la solución óptima, la mayoría de veces se usa la aproximación de Vogel seguido del algoritmo de MODI, porque estos reducen el tiempo que demora en hallar la solución de menor costo.

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

La empresa minera tiene diferentes proveedores de “ACEITE OMALA S2 G68” para sus minas ubicadas en el país. Los proveedores tienen rutas determinadas, las cuales no pueden llegar a todas la minas que posee la empresa. La minera nos brindó la información de 6 proveedores y las minas a las que podían llegar. Sin embargo, no detalló las ubicaciones geográficas de estos proveedores. Los datos de la demanda promedio mensual de las 5 minas fueron brindados. Para el caso de los proveedores, se nos brindó solamente el aproximando de lo que serian capaces de ofertar. La tabla de transporte, con la demanda y la oferta redondeadas, y tomando en cuenta las rutas que no existen, se muestra a continuación:

Tabla 1: A Planteamiento inicial del problema

	Mina 1	Mina 2	Mina 3	Mina 4	Mina 5	Oferta
Proveedor 1	7.59	7.36			7.49	162
Proveedor 2		7.35	7.35	6.67	6.54	161
Proveedor 3	42.2		42.56			55
Proveedor 4		8.95	8.41			586
Proveedor 5			6.32	6.58		357
Proveedor 6	21.33			20.19		345
Demanda	284	257	306	194	122	

De esta manera, tenemos:

$$\text{Demanda total} = 284 + 257 + 306 + 194 + 122 = 1163$$

$$\text{Oferta total} = 162 + 161 + 55 + 586 + 357 + 345 = 1666$$

Por lo tanto, es necesario balancear la oferta excedente con una mina ficticia. Ésta tendrá una demanda de:

$$\text{Demanda mina ficticia} = 1666 - 1163 = 503$$

Tabla 2: Planteamiento del problema con mina ficticia

	Mina 1	Mina 2	Mina 3	Mina 4	Mina 5	Mina ficticia	Oferta
Proveedor 1	7.59	7.36			7.49	0	162
Proveedor 2		7.35	7.35	6.67	6.54	0	161
Proveedor 3	42.2		42.56			0	55
Proveedor 4		8.95	8.41			0	586
Proveedor 5			6.32	6.58		0	357
Proveedor 6	21.33			20.19		0	345
Demanda	284	257	306	194	122	503	1666

Además, como algunos proveedores no tienen rutas que llegan a todas las minas, se deben terminar de llenar las casillas que quedan en blanco con costos de transporte muy altos. Estos se representan con una “M”. Por practicidad, se asume que en este caso $M = 1000$.

Tabla 3: Planteamiento final del problema

	Mina 1	Mina 2	Mina 3	Mina 4	Mina 5	Mina ficticia	Oferta
Proveedor 1	7.59	7.36	1000	1000	7.49	0	162
Proveedor 2	1000	7.35	7.35	6.67	6.54	0	161
Proveedor 3	42.2	1000	42.56	1000	1000	0	55
Proveedor 4	1000	8.95	8.41	1000	1000	0	586
Proveedor 5	1000	1000	6.32	6.58	1000	0	357
Proveedor 6	21.33	1000	1000	20.19	1000	0	345
Demanda	284	257	306	194	122	503	1666

De esta manera, quedaría lista la tabla de costos de transporte para ser resuelta según el método más conveniente, y así determinar el costo mínimo total.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En lugar de aplicar los algoritmos de transporte descritos anteriormente, por motivos de practicidad y orden, se utilizó la Programación Lineal para resolver el problema. De acuerdo a dicha Programación Lineal, planteada en el Apéndice 1 y los resultados del Reporte LINDO en el Apéndice 2, se calcula el costo total mensual mínimo del transporte del ACEITE OMALA S2 G68 como US\$ 10,361.18.

Además, según el Reporte LINDO se enviarán:

- 162 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 1 hasta la mina 1,
- 39 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 2 hasta la mina 4,
- 122 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 2 hasta la mina 5,
- 257 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 4 hasta la mina 2,
- 104 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 4 hasta la mina 3,
- 202 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 5 hasta la mina 3,
- 155 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 5 hasta la mina 4,
- 122 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 6 hasta la mina 1,
- 55 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 3 hasta la mina ficticia,
- 225 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 4 hasta la mina ficticia,
- y 223 galones de ACEITE OMALA S2 G68 desde el proveedor 6 hasta la mina ficticia.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, se usará al menos una ruta desde todos los proveedores. Similarmente, todas las minas serán abastecidas con el insumo. Sin embargo, en la "solución óptima" de transporte, no se usan todas las rutas que actualmente recorren los vehículos que abastecen de aceite a las minas. Por lo tanto, se sugiere reprogramar esta red de distribución. El estudio es relevante para la empresa al tener como objetivo principal la minimización de los costos de transporte, que permite maximizar las utilidades. Esto significará una reducción en el consumo del petróleo, cuyo precio ha tenido una tendencia de aumento en los últimos 5 años.

Por otro lado, para mejorar el análisis de los resultados, se recomienda averiguar sobre las ubicaciones geográficas de los proveedores en cuestión, así como de las minas, para crear un modelo que tenga sentido geográficamente. Además, se deberá notar que el modelo no considera especificaciones de las rutas utilizadas por los proveedores e.g. accesibilidad, complejidad (en la Sierra, en la selva), inseguridad (paros, huaycos), entre otros. También se podría ampliar el alcance del estudio, considerando las minas que la minera tiene fuera del país. Finalmente, se recomienda aplicar el mismo modelo de costo mínimo de transporte a los otros consumibles como los aceros de perforación, los explosivos y accesorios, el petróleo y derivados, y así sucesivamente.

Authorization and Disclaimer

Authors 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.

6. APÉNDICES

Apéndice 1 -Programación lineal del Problema de transporte

Variables de decisión:

Xij: Cantidad de galones de ACEITE OMALA S2 G68 transportados desde el proveedor i hasta la mina j.

Donde:

i = 1, 2, 3, 4, 5, 6 (6 = Mina ficticia)

j = 1, 2, 3, 4

Función objetivo:

$$\text{Min } Z = 7.59X_{11} + 7.36X_{12} + 1000X_{13} + 1000X_{14} + 7.49X_{15} + 0X_{16} + 1000X_{21} + 7.35X_{22} + 7.35X_{23} + 6.67X_{24} + 6.54X_{25} + 0X_{26} + 42.2X_{31} + 1000X_{32} + 42.56X_{33} + 1000X_{34} + 1000X_{35} + 0X_{36} + 1000X_{41} + 8.95X_{42} + 8.41X_{43} + 1000X_{44} + 1000X_{45} + 0X_{46} + 1000X_{51} + 1000X_{52} + 6.32X_{53} + 6.58X_{54} + 1000X_{55} + 0X_{56} + 21.33X_{61} + 1000X_{62} + 1000X_{63} + 20.19X_{64} + 1000X_{65} + 0X_{66}$$

Restricciones:

Demandas de minas:

Mina 1:

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} = 284$$

Mina 2:

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} = 257$$

Mina 3:

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} = 306$$

Mina 4:

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} + X_{64} = 194$$

Mina 5:

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} + X_{65} = 122$$

Mina ficticia:

$$X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{66} = 503$$

Ofertas de proveedores:

Proveedor 1:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} = 162$$

Proveedor 2:

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} = 161$$

Proveedor 3:

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} = 55$$

Proveedor 4:

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} = 586$$

Proveedor 5:

$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} = 357$$

Proveedor 6:

$$X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} = 345$$

Rango de existencia:

$$X_{ij} \geq 0$$

Apéndice 2 -Reporte LINDO:

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 16

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 10361.18

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	162.000000	0.000000
X12	0.000000	12.150001
X13	0.000000	1005.330017
X14	0.000000	1005.070007
X15	0.000000	12.690000
X21	0.000000	980.669983
X22	0.000000	0.400000
X23	0.000000	0.940000
X24	39.000000	0.000000
X25	122.000000	0.000000
X31	0.000000	20.870001
X32	0.000000	991.049988
X33	0.000000	34.150002
X34	0.000000	991.330017
X35	0.000000	991.460022
X41	0.000000	978.669983
X42	257.000000	0.000000
X43	104.000000	0.000000
X44	0.000000	991.330017
X45	0.000000	991.460022
X51	0.000000	980.760010
X52	0.000000	993.140015
X53	202.000000	0.000000
X54	155.000000	0.000000
X55	0.000000	993.549988
X61	122.000000	0.000000
X62	0.000000	991.049988
X63	0.000000	991.590027
X64	0.000000	11.520000
X65	0.000000	991.460022
X16	0.000000	13.740000
X26	0.000000	2.000000
X36	55.000000	0.000000
X46	225.000000	0.000000
X56	0.000000	2.090000
X66	223.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	12.380000
4)	0.000000	12.920000
5)	0.000000	12.660000
6)	0.000000	12.790000
7)	0.000000	21.330000
8)	0.000000	-7.590000
9)	0.000000	-19.330000
10)	0.000000	-21.330000
11)	0.000000	-21.330000
12)	0.000000	-19.240000
13)	0.000000	-21.330000

NO. ITERATIONS= 16