

SIMULACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍA LIGERA EN MÉXICO

Rodolfo Garza Morales

Universidad Autónoma de Nuevo León
Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L.
rodgarzam@gmail.com

Miguel Mata Pérez

Universidad Autónoma de Nuevo León
Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L.
mighelmata@gmail.com

Jania Astrid Saucedo Martínez

Universidad Autónoma de Nuevo León
Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L.
janiasaucedo@gmail.com

RESUMEN

En la práctica común, el acomodo y distribución de tubería ligera es realizada empíricamente, por lo que se suele incurrir en gastos innecesarios. Dar una solución analítica al problema de distribución de tubería ligera implica la solución de varios tipos de problemas entrelazados como el de ruteo de vehículos, empaquetamiento de círculos dentro de rectángulos (para el acomodo dentro del vehículo) y empaquetamiento de círculos dentro de círculos (aprovechar máximo espacio introduciendo tubos dentro de otros). Dada la compleja dificultad de resolver este conjunto de problemas, proponemos un método de solución mediante simulación y reglas heurísticas y mostramos los resultados obtenidos.

PALABRAS CLAVE. Empaquetamiento, asignación de rutas, distribución de productos.

L & T - Logística y Transporte, SIM – Simulación

ABSTRACT

In practice, the task of loading and distributing light pipes is done empirically and is common to incur in unnecessary costs. To find an analytical solution to this problem implies the solution to other problems such as: vehicle routing, circle packing into rectangles (truck loading), circle packing into circles, insertion of pipes into pipes (space utilization), among others. Because of the analytical solution complexity, we propose a solution method using simulation and heuristics rules, and present the results.

KEY WORDS. packing, routing problem, products distribution.

L & T - Logistics and Transport, SIM – Simulation

1. Introducción

El problema clásico de distribución consiste en enviar la cantidad de producto necesaria desde un conjunto de plantas a un conjunto de almacenes o bien a clientes directos Gilbert (2009). Este problema es uno de los más comunes en las empresas productoras, ya que el costo de distribución representa del 10% al 20% del costo final del producto Toth et al. (2002). Este problema, es conocido como el problema de ruteo de vehículos (VRP) y ha sido estudiado ampliamente en la literatura con distintas variantes, por ejemplo, el uso de ventanas de tiempo para carga en origen y entrega en destino, rutas con paradas intermedias para entrega de producto, flotas heterogéneas u homogéneas, etcétera Lau et al (2003), Lee et al (2003).

En la práctica actual, la lógica a seguir por las personas que acomodan el producto es el de disponer de los camiones de entrega fuera de la planta y, en el orden en que llegaron, son cargados con el producto. De esta manera se enfrentan varios problemas: en primer lugar no se escoge el vehículo a cargar de acuerdo a una buena asignación de pedidos y partidas. Acto seguido se deben escoger los tubos que serán cargados en el camión de acuerdo a la capacidad del mismo (problema de empaquetamiento de círculos en un rectángulo Huang (2007)) además de los tubos que serán acomodados dentro de otros tubos (empaquetamiento de círculos dentro de círculos Noordwijk (2006)). Es importante mencionar que, debido a que se maneja tubería ligera, la principal restricción que se tiene no es la vencer la capacidad de peso sino la de volumen

Dado el elevado costo de transporte es importante evitar el pago de falso flete, esto es, pagar un viaje que pudo evitarse aprovechando mejor otros viajes. Es por ello que se suele insertar tubos de menor diámetro en otros de los tubos ya cargados, aprovechando la capacidad del vehículo. Sin embargo, esta estrategia debe hacerse inteligente, planeación de rutas y planeación de carga están fuertemente ligados al acomodo óptimo del producto en los vehículos, es decir, el empaquetamiento de cuerpos cilíndricos en las cajas de los vehículos de transporte, el cual se encuentra en la literatura como el problema de de acomodar círculos en un contenedor rectangular sin traslaparse Huang (2007), Noordwijk (2006).

2. Descripción del problema

Una empresa ubicada en la ciudad de Monterrey, Nuevo León (México), productora y distribuidora de tubería ligera, líder en su ramo, está compuesta por dos divisiones, la textil y la de plásticos, ésta última a su vez está dividida en la sección de sistemas de riego y de tubería para construcción.

En su división de plásticos, los principales productos que maneja la empresa son tuberías con las siguientes características: longitud (3, 6 y 9 metros), calibre (3.5, 4, 5, 7, 10 pulgadas), si es abocinada o no (un aumento pequeño en el diámetro de un extremo del tubo para posibilitar la unión entre tubos, ver figura 1) y el diámetro (13, 19, 25, 38, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 250, 350 mm).



Figura 1. Tubo de PVC abocinado.

La compañía está compuesta por 5 plantas de producción distribuidas a lo largo de la República Mexicana cubriendo completamente el territorio nacional; además de 45 centros de distribución mayoristas y más de 300 clientes en toda la república.

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta diariamente la compañía lo encuentra en la distribución de sus pedidos. Actualmente el departamento de embarque soluciona este problema empíricamente, decidiendo la ruta a seguir, los clientes a visitar y los pedidos a entregar en determinado transporte, además de decidir que tubos podrían ir dentro o encima de otros tubos.

Debido a que la empresa no cuenta con flotilla propia, se ve en la necesidad de contratar los servicios de 12 compañías de fletes, las cuales cuentan con los siguientes tipos de vehículos:

Transporte	Longitud	Altura	Ancho	Volumen
Torton	6.5 m	3.3 m	3.6 m	55.77m ³
Tráiler 42	12.8 m	3.6 m	2.45 m	112.9m ³
Tráiler 45	13.72 m	3.75 m	2.5 m	128.58m ³
Tráiler 48	14.63 m	4 m	2.5 m	146.3 m ³

Tabla 1. Tipos de transportes y sus medidas.

A continuación describimos un pequeño ejemplo como es que se lleva a cabo la distribución y acomodo de tubería, desde la solicitud del pedido, hasta la entrega de la tubería a los clientes, así como los gastos implicados.

Inicialmente, los clientes colocan su pedido, dicho pedido está compuesto por “partidas”, una partida consiste en un tipo y una cantidad de tubo determinada. Por ejemplo: 220 tubos de 25 milímetros de diámetro, 60 tubos de 350 milímetros de diámetro y 155 tubos de 100 milímetros de diámetro, entonces el pedido estará conformado por tres “partidas”, las cuales deberán ser entregadas en uno o más transportes.

Después de realizar el pedido, el departamento de embarques se da a la tarea de solicitar el transporte adecuado para entregar los pedidos a una compañía de fletes para satisfacer dicha demanda, incurriendo en un costo de renta.

Si en el trayecto de la ruta hacia ese destino solicitado se encuentra otro cliente que posteriormente haga otro pedido, este podrá ser embarcado en el mismo transporte, siempre y cuando tenga espacio disponible (total o parcial) para cargar el pedido del segundo cliente, lo cual implica un ahorro importante en la renta del flete. Otro punto que se toma en cuenta para el ahorro del costo de la distribución, es que si los tubos que componen un pedido ya cargado en el transporte son de mayor diámetro que los del segundo pedido, entonces, los tubos del pedido del segundo cliente podrán ser introducidos dentro de los tubos del pedido del primer cliente; además existe la posibilidad de introducir tubos de un mismo pedido pero de otra partida dentro de otros tubos.

Un punto que debe tomarse en cuenta es el de vigilar el peso que soportan los tubos de las posiciones inferiores, ya que esto podría ocasionar deformaciones o fisuras en el producto.

Debido a que se distribuye el producto por rutas (conjunto de varias ciudades) es frecuente que un mismo vehículo no pueda satisfacer la demanda de todos los clientes. Además es común que determinada mercancía no se encuentre inicialmente en la planta de producción donde fue colocado el pedido, sino que deba ser distribuida desde otros proveedores. En este caso los proveedores deben ser visitados antes que los clientes, lo que conlleva a que algunas veces los proveedores puedan ser considerados también como clientes.

Otra de las consideraciones que debe tomar el transportista es la accesibilidad al cliente, en cuanto a tiempo y espacio, es decir, el cliente puede tener restricciones en relación a su horario de servicio en el que puede recibir el producto (conocidas en la literatura como ventanas de tiempo); así como tipo de vehículo para acceder, ya que algunos vehículos pesados no pueden ingresar a ciertos lugares.

Cada vehículo cuenta con ciertas particularidades, por ejemplo, su capacidad (dimensión), peso y volumen (ver tabla 1). En cuanto a las rutas, es de esperar que cada una comience y finalice en un mismo depósito, aunque en la práctica suele suceder que el viaje finalice en el domicilio del conductor del vehículo.

El costo total del flete del transporte se compone por un costo fijo y un costo variable. El costo fijo consta de una tarifa fija proporcional a la distancia que recorre, el cual incluye 3 entregas dentro del recorrido a realizar, mientras que el costo variable, se da siempre y cuando se realice una entrega extra, además de un costo de carga y descarga de las partidas según su acomodo en el transporte.

Entre los objetivos más usuales están el de minimizar la cantidad de vehículos empleados para la distribución y el de minimizar la distancia recorrida. En particular la empresa está interesada en reducir el gasto anual generado por la carga del transporte y la distribución de los pedidos de sus clientes.

3. Complejidad del problema

El problema de distribución de tubería contiene al menos tres problemas de optimización básicos: (1) el acomodo o embalaje de círculos dentro de círculos, (2) el de círculos dentro de rectángulos y (3) la asignación de rutas de vehículos con reparto. Cada uno de ellos ha sido ampliamente estudiado en la literatura y para dar solución a ellos se requiere de un tiempo de cómputo potencialmente grande. Para obtener más información acerca de la complejidad de estos problemas puede consultar De-Fu (2005) para el problema del acomodo de círculos dentro de círculos, Zhang (2009) para el de círculos dentro de rectángulos y Gilbert (2009) para el problema de asignación de rutas de vehículos.

4. Metodología propuesta para solucionar el problema

El objetivo principal de nuestro trabajo es desarrollar e implementar una metodología al problema de carga y distribución de tubería ligera, la cual está basada en un algoritmo voraz y el método Montecarlo, entregando una solución factible y un nivel de confiabilidad elegida por el usuario (con una significancia del 95, 97 o 99%), en un tiempo aceptable.

El método de Montecarlo es una técnica de simulación que ha demostrado ser útil en la práctica para aproximar expresiones matemáticas complejas o costosas de evaluar en forma exacta. Para los lectores no familiarizados con el método de Montecarlo se sugiere ver Ross(1999), Coss Bu (2009).

La metodología que se propone, cuenta con varias suposiciones, en cuanto a la descripción del problema a solucionar, por ejemplo, en cuanto a la red de distribución solo se toma en cuenta una sola planta de distribución (la ubicada en Monterrey) por lo que la posibilidad de entregar un pedido realizado a la planta de producción 1 y abastecerlo desde la planta 2 no será admisible.

Se ha propuesto dividir el territorio del país en cinco zonas geográficas: zona norte, noroeste, noreste, occidente y centro-sur tal (ver la figura 2). Debido a que el sistema carretero nacional ofrece alternativas para llegar a algunas ciudades, éstas puedan quedar incluidas en determinada zona o bien en una zona adyacente (dichas ciudades las llamaremos “espacios de indefinición” de aquí en adelante). La ubicación de los espacios de indefinición se decide de acuerdo a los destinos de cada uno de los pedidos a embarcar en cada período.



Figura 2. Red de distribución en la República Mexicana

El problema de distribución a resolver no toma en cuenta las ventanas de tiempo. Tampoco se considera el peso de los tubos, por lo que la herramienta puede proporcionar algún acomodo que cause fisuras o deformaciones en algunos productos en la carga.

También consideramos la simplificación de partidas, ya que alguna de las solicitadas podría no caber en un solo vehículo, mediante el cálculo de la cantidad máxima de tubos de cada tipo que caben en el vehículo de menor volumen (ver tabla 2), se crearon sub-partidas, es decir, si tenemos una partida compuesta por 75 tubos de 13mm, se tomarán como 2 partidas, una de 50 y otra de 25.

Tipo de tubería	Cantidad
13mm	50
19mm	25
25mm	20
38mm	10
50mm	10
60mm	5
75mm	5
100mm	5
150mm	1
200mm	1
250mm	1
315mm	1
350mm	1

Tabla 2. Conjuntos de tubería.

Por último, el costo total será calculado por el costo del flete y los de carga y descarga. El costo del flete depende del vehículo empleado, la cantidad de kilómetros recorridos, el tipo de terreno que recorre, además de un costo de estadía, repartos y casetas. El costo de flete incluye 3 entregas en el recorrido, en caso de realizar más entregas, se incurre en un costo adicional por cada entrega.

Como ya se ha dicho, con el objetivo de minimizar el volumen requerido para la distribución de todos los pedidos y, por lo tanto, la cantidad de vehículos a rentar, los tubos pueden ser acomodados unos dentro y encima de otros, por lo que si es necesario hacer maniobras de descarga, por ejemplo quitar tubos de encima para sacar tubos de abajo o sacar tubos que están dentro de otro para retirar este último y poder entregarlos, es cuando se incurre en estos costos de carga y descarga. Dichos costos están relacionados a la proporción de volumen que ocupan en el vehículo y aplica siempre y cuando se realice la descarga de una partida en una ubicación donde no fue solicitado y es necesario volver a cargar la partida para entregarla en otra ubicación.

De acuerdo con las especificaciones anteriores, a continuación describimos nuestra metodología.

Iniciamos con la definición del “proceso de selección al azar”. Para todas las selecciones al azar asignamos una probabilidad uniforme a cada uno de los elementos, por ejemplo, si queremos elegir un número de 2 disponibles (1,2), se asigna la probabilidad de (0, 0.49) al número 1 y del (0.5, 1) al número 2, después se genera un número aleatorio, si es el 0.48, elegimos el número 1. Con base en ello, la metodología es la siguiente:

- 1. Asignación de “espacios de indefinición”:** Se elige un espacio de indefinición al azar y se asigna a una zona geográfica al azar. Este proceso se repite hasta asignar todos los espacios de indefinición a una zona geográfica.
- 2. Agrupamiento de pedidos por zona geográfica:** Se agrupan todos los pedidos de acuerdo a la zona geográfica de destino.

3. **Elección de una zona geográfica:** Se elige una zona geográfica al azar para planear la distribución de sus pedidos.
4. **Selección de un pedido al azar:** Se selecciona un pedido al azar, se acomodan sus partidas en orden decreciente con respecto al diámetro de los tubos.
5. **Selección de un transporte al azar:** Se selecciona un tipo de transporte al azar, se acomoda partida por partida de acuerdo al orden establecido en el paso anterior. Se intenta introducir la partida en turno en los tubos previamente cargados, cuando no es posible se ubican en el transporte siempre y cuando se cuente con la capacidad. Cuando ya no hay espacio en el transporte se selecciona un nuevo vehículo al azar. Se repite este proceso hasta acomodar todas las partidas del pedido seleccionado. Volver al paso 4.
6. **Creación de las rutas:** Para cada transporte se traza la ruta siguiendo el siguiente proceso: De acuerdo a los destinos de las partidas cargadas se crea una ruta tomando como punto de inicio la planta y cada siguiente punto consiste en la ciudad más próxima al punto actual, así hasta finalizar las entregas del vehículo.
7. **Fin de la asignación:** En caso de que todos los pedidos han sido asignados ir al paso 8. En caso contrario, volver al paso 3.
8. **Cálculo del costo total:** Se calcula el costo total de la distribución encontrada.
9. **Criterio de parada:** Se calcula la confiabilidad, si está en el rango elegido por el usuario, PARAR, devolver los resultados. En caso contrario, volver al paso 1 para construir una nueva solución.

Después de detener la simulación, se despliega como resultado: la asignación de los “espacios de indefinición”, la ruta trazada para cada uno de los pedidos y el acomodo de los pedidos en el transporte, este resultado corresponde a la alternativa evaluada que resulte en el menor costo total.

Se generación aleatoriamente solo 5 casos prueba, debido a la complejidad que es obtener el costo total de una acomodo mediante el método empírico. De acuerdo a los datos históricos de la empresa, reciben entre 1 y 300 pedidos por día, cada uno de ellos compuesto por 1 a 30 partidas. Cabe mencionar que no necesariamente cada pedido está compuesto por la misma cantidad de partidas, es decir, si los pedidos del día x fueron 6, el pedido 1 puede estar compuesto por 10 partidas, el 2 por 1 el 3 por 17 y así sucesivamente, por lo que en la tabla de resultados, solo mostramos la suma de partidas en total. Para cada uno de estos casos prueba se aplicó la metodología propuesta y además se resolvieron de acuerdo a los métodos empíricos empleados por la misma, eso con el objetivo de comprobar la efectividad de la simulación, obteniendo como resultado una reducción en promedio de costos en 20%. Los resultados obtenidos pueden observarse en la Tabla 3.

Caso	Partidas	Porcentaje de ahorro
1	235	25%
2	48	15%
3	290	15%
4	283	20%
5	279	25%

Tabla 3. Resultados.

5. Conclusiones

Ha sido desarrollada una herramienta estadística, basada en el método Montecarlo, para la caracterización y solución del problema de embalaje y reparto de tubería ligera. Mediante el uso de esta herramienta hemos logrado obtener una solución al problema de asignar todas las partidas de todos los pedidos a vehículos de distintas dimensiones y la definición dinámica de las rutas de tal manera que contamos con una solución en un nivel de confianza definido y en un tiempo razonable para su implementación. Las soluciones propuestas han sido comparadas con la

práctica actual resultando en una mejora económica de al menos el 20% de los costos asociados a la distribución y ofreciendo una mejor calidad en cuanto a los tiempos de servicio debido al corto tiempo empleado para el acomodo del producto.

6. Referencias

- Coss Bu. R.(1999). “Simulación: Un enfoque práctico”. Limusa Noriega Editores.
- De-Fu Z, Xin L.(2005) “A Personified Annealing Algorithm for Circles Packing Problem”. Acta Automatica Sinca, 31(4), 1-6.
- Garey M, Johnson D. (1979). “Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness”. W. H. Freeman and Company.
- Gilbert L.(2009). “Fifty Years of Vehicle Routing”. Transportation Science, 43(4), 408-416.
- Huang W, Liu J. (2007) “Extremal Optimization with Local Search for the Circular Packing Problem”. Proceedings Third International Conference on Natural Computation
- Lau H.C, Sim M, Teo K.M.(2003). “Vehicle Routing Problem with Time Windows and a Limited Number of Vehicles”. European Journal of Operational Research, 148, 559-569.
- Lee L. H, Tan K.C, Ou K, Chew Y.H (2003). “Vehicle Capacity Planning System: A Case Study on Vehicle Routing Problem with Time Windows”. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A. 33(2), 169-178.
- Noordwijk M. C, Szeged T.(2006) “A Reliable Area Reduction Technique for Solving Circle Packing Problems”. Computing, 77, 147-162.
- Ross S. M. (1999). “Simulación, 2ª. Edición”. Prentice Hall.
- Toth P, Vigo D. (2000). An Overview of Vehicle Routing Problems. Monographs on Discrete Mathematics and Applications. In: The Vehicle Routing Problem. SIAM.
- Zhang D, Liu Y, Chen S. (2004). “Packing Different-sized Circles into a Rectangular Container Using Simulated Annealing Algorithm”. Transactions on engineering, computing and technology, 1, 388-391.