

1 INTRODUCCIÓN

El sector manufacturero tiene un rol importante en el ámbito económico industrial de nuestro país. Entre los servicios ofrecidos al personal que labora en el mismo, se encuentra el de transporte, que consiste en recoger a los trabajadores en puntos estratégicos de la mancha urbana y trasladarlos a la planta industrial, de igual manera al finalizar la jornada laboral. Esta prestación es piedra angular para los obreros, pues aquí inicia y termina su contacto con el centro de trabajo.

Históricamente, el VRP (*Vehicle Routing Problem*) se ha utilizado para modelar problemas de distinta índole como recolección de basura, entrega de comida, distribución o recaudación de bienes, entre otros. El problema en el que nos enfocamos en este artículo es el transporte de personal; esta variante del VRP, por sus características, debe considerar conceptos como: eficiencia (razón entre el nivel de servicio y costo), efectividad (calidad del servicio) y equidad (balanceo de carga), (J. Park y B. Kim, 2010). No obstante, la variante del VRP que tiene características similares a este problema se conoce como Problema de Rutas de Vehículos Escolares SBRP (*School Bus Routing Problem*) (P. Schittekat et al., 2013). El objetivo de un caso de SBRP es planear las rutas que autobuses escolares deberán seguir de tal forma que se le brinde servicio a todos los estudiantes optimizando los objetivos de distancia, tiempo y número de vehículos utilizados.

El algoritmo GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedures*) que proponemos se aplicó a datos reales provenientes de una empresa de manufactura en la ciudad de Chihuahua, Chih.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El servicio de transporte se proporciona a 643 trabajadores en un total de 363 puntos de demanda que se encuentran distribuidos en toda la ciudad de Chihuahua, éstos se ubican a una distancia relativamente cercana del hogar del trabajador. Para cubrir la demanda, la empresa alquila 27 camiones de un concesionario local cuya capacidad es de 40 trabajadores. Por cada camión la empresa paga un costo fijo, sin tomar en cuenta la distancia recorrida.

Las principales restricciones para la resolución del problema son: brindar un servicio de calidad, tiempo de traslado no mayor a una hora y sin personas de pie en los camiones.

3 MÉTODOS

El algoritmo GRASP se ha posicionado como una estrategia interesante para solucionar problemas complejos por su simplicidad y capacidad de exploración. Es un proceso iterativo donde primero se construye una solución y después se mejora mediante búsqueda local.

El primer procedimiento toma en cuenta todos los puntos de demanda disponibles para insertarlos en rutas. La condición para seleccionar un punto de demanda es que la capacidad de la ruta sea menor a 40 pasajeros y su distancia total recorrida sea menor a 30 mil metros.

El segundo procedimiento, es una variante del 2-opt, donde se selecciona una ruta y dos nodos a intercambiar. El cambio se acepta siempre que la distancia total de la ruta se disminuya. El algoritmo GRASP integra ambos procedimientos.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

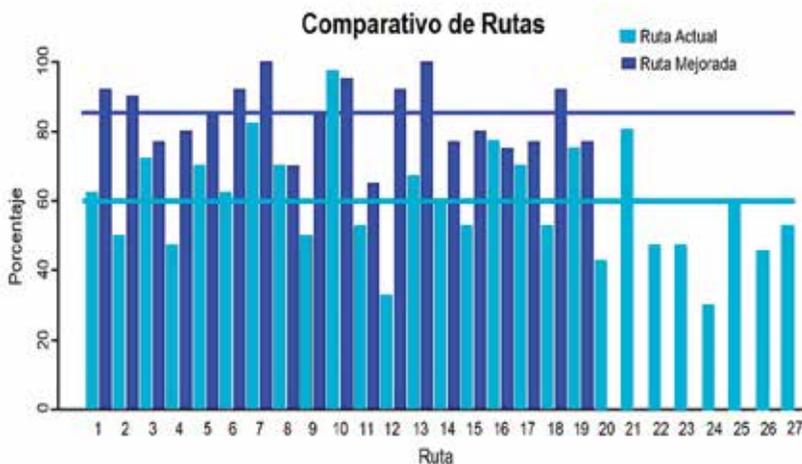
En promedio cada ruta recorre actualmente 12 mil 563.85 metros. El trayecto que más distancia cubre es de 20 mil 608.94 metros y el de menor recorrido es de 2 mil 435.46 metros. La suma de todas las distancias recorridas por las rutas actuales es de 339 mil 223.91 metros.

- La reducción de rutas es de 27 a 19 (-29.63%). Considerando que el costo del servicio de transporte de personal para la empresa es de \$400.00 pesos por viaje sencillo, la reducción de costos anuales asciende a la cantidad de \$1 millón 664 mil pesos por este turno.

Un algoritmo GRASP para un SBRP aplicado al transporte de personal de una empresa de manufactura

En este trabajo presentamos los resultados que obtuvimos para 1,000 iteraciones. El algoritmo logró reducir el número de rutas actuales de 27 a 19, es decir al 29.63%. La distancia total recorrida por las nuevas rutas es de 234 mil 70.52 metros y el promedio de distancia recorrida por cada una es de 12 mil 319.50 metros.

- La reducción en el recorrido total de las rutas es de 339 mil 223.91 a 234,070.52 metros diarios, es decir, 105 mil 153.59 (-30.99%) metros menos de recorrido, lo que representa una reducción en la generación de gases de efecto invernadero por quema de combustible.
- Se mejoró en un 25.03% la capacidad de uso del transporte, la cual se encontraba en 59.44% y se incrementó a un 84.57%.
- El promedio por recorrido de cada nueva ruta es de 12 mil 319.50 metros, lo cual mantiene el tiempo de traslado por debajo de una hora, tomando en cuenta que la velocidad promedio de un vehículo en la ciudad de Chihuahua es de 17 km/h.



La anterior tabla muestra la comparación entre las actuales y nuevas rutas de transporte. Se observa un incremento en el porcentaje de uso de las mismas y consecuentemente una reducción en el número de rutas requeridas para dar servicio a la misma cantidad de usuarios. El promedio de los porcentajes de uso de ambos conjuntos de rutas también muestran diferencias importantes. Con base en esto podemos realizar el siguiente análisis:

5 CONCLUSIONES

En este artículo presentamos el problema de transporte de personal de una empresa de manufactura en la ciudad de Chihuahua, éste puede ser visto como una variante del *Open Vehicle Routing Problem* (OVRP) o problema de vehículos. Para el caso práctico que exponemos, proponemos una heurística GRASP sencilla e intuitiva, lo que permitirá a los encargados de la maquiladora adaptarla a sus necesidades. Los resultados que se obtuvieron reducen en un 29.63% el número de rutas actuales, lo cual trae consigo ahorros importantes que ascienden a \$1 millón 664 mil pesos al año (considerando los trabajadores de un sólo turno). Con la nueva planeación, la capacidad de uso de los autobuses fue incrementada, mientras que aspectos de calidad del servicio como el tiempo de traslado fueron mantenidos en los estándares actuales.