

Strategy of product supply and distribution to points of sale: a case study of a Peruvian bank

Renzo Benavente, Industrial Engineer¹, Wilmer Atoche, Industrial Engineer²

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, renzo.benavente@pucp.pe

²Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, watoche@pucp.edu.pe

Abstract— *This research aims to propose a strategy with a scientific basis that minimizes the cost of distributing products from a central plant to points of sale. This strategy has two phases: first schedule which outlets to stock each week within the period of analysis, and then develop a routing plan for the outlets each week. A linear programming model is presented for each of the phases. This strategy is applied to a bank of Lima for the distribution of debit cards offered to new customers who wish to have a savings account. Comparing the proposed distribution with the current one is a saving in logistic costs.*

Keywords-*Bank, vehicle routing problem, distribution*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.173>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

Propuesta de estrategia de abastecimiento de productos y distribución hacia puntos de venta: un caso de estudio de un banco peruano

Renzo Benavente, Industrial Engineer¹, Wilmer Atoche, Industrial Engineer²

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, renzo.benavente@pucp.pe

²Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, watoche@pucp.edu.pe

Abstract – *This research aims to propose a strategy with a scientific basis that minimizes the cost of distributing products from a central plant to points of sale. This strategy has two phases: first schedule which outlets to stock each week within the period of analysis, and then develop a routing plan for the outlets each week. A linear programming model is presented for each of the phases. This strategy is applied to a bank of Lima for the distribution of debit cards offered to new customers who wish to have a savings account. Comparing the proposed distribution with the current one is a saving in logistic costs.*

Keywords — *Bank, vehicle routing problem, distribution.*

Resumen – *La presente investigación tiene como objetivo proponer una estrategia con fundamento científico que lo que minimizar el costo de distribución de productos desde una planta central hacia puntos de venta. Esta estrategia tiene dos fases: primero programar qué puntos de venta abastecer cada semana dentro del horizonte de tiempo del análisis, y luego desarrollar un plan de ruteo para los puntos de venta seleccionados cada semana. Se presenta un modelo de programación lineal para cada una de las fases. Esta estrategia se aplica sobre un banco peruano para la distribución de tarjetas de débito que se ofrece a los nuevos clientes que desean tener una cuenta de ahorros. Comparando la distribución propuesta con la actual se encuentra un ahorro en los costos logísticos.*

Palabras claves — *Banca, problema de ruteo, distribución.*

I. INTRODUCCIÓN

Muchas empresas planifican los despachos y la distribución de sus productos desde una planta principal hacia diversos puntos de venta de manera empírica. Los puntos de venta tienen una demanda que satisfacer cada semana y es común que se vayan a abastecer a las que están próximas de rotura de stock. Sin embargo, el monto a distribuir por lo general es un lote fijo. La desventaja de esta práctica es que se incurre en costos logísticos altos debido a la frecuencia de visitas a los puntos de venta en las semanas, y más aún si no se cuenta con un plan formal de distribución.

La estrategia inicial de determinar cuántas visitas realizar por semana apunta intuitivamente a minimizar este número y así reducir el costo logístico. Repartir una cantidad igual a la demanda cada semana en los puntos de venta implicaría visitar la totalidad de puntos cada semana; y su contraparte de repartir únicamente un gran lote al inicio del horizonte de tiempo resulta muchas veces infactible por una tema de capacidad en el punto de venta de recibir tanto y a veces se incurre en costos de posesión. En esta investigación se presentará como caso de

estudio un banco peruano que tiene como tarea distribuir semanalmente tarjetas plásticas de débito a sus agencias.

Los bancos obtienen sus ingresos principalmente de los intereses cobrados a personas naturales o empresas producto de préstamos monetarios. Sin embargo, para poder prestar dinero, primero deben captarlo de otras fuentes denominadas pasivos. El principal aporte de los pasivos proviene de las cuentas de ahorro de la banca minorista por lo que cumple un rol importante en la continuidad de un banco. Cuando un cliente nuevo desea abrir una nueva cuenta de ahorro se acerca a una agencia bancaria y un asesor le otorga una tarjeta plástica de débito. Es importante entonces que siempre se tenga stock de tarjetas plásticas en las agencias del banco para evitar perder la venta del pasivo así como poner en juego la participación en el mercado.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A. Modelo matemático

El problema de ruteo de vehículos, en adelante VRP, busca dar una solución a la distribución de productos partiendo de depósitos hacia un grupo clientes. El objetivo es determinar una o más rutas, cada una ejecutada por un solo vehículo que inicia y finaliza el recorrido en un depósito, tal que todos los clientes sean atendidos, las restricciones operacionales satisfechas y el costo global minimizado [1].

Los primeros en dar una aplicación real al VRP buscaron optimizar el ruteo de una flota de camiones repartidores de gasolina a un gran número de estaciones de servicio, partiendo de un depósito central. En este caso los vértices representan el depósito y cada una de las estaciones de servicio a las que se debe abastecer, mientras que los arcos representan la distancia entre cada uno de estos nodos [2].

Generalmente, este problema es descrito en un gráfico cuyos arcos representan caminos y los vértices indican la ubicación del depósito y los clientes. Cada cliente tiene un requerimiento de bienes, los cuales deberán ser repartidos por una flota de vehículos, cuya cantidad y capacidad de carga son parámetros del problema. Cada arco se asocia a un costo, el cual generalmente representa la distancia entre nodos, o el tiempo que demora trasladarse de un punto a otro. A continuación se muestra el modelo VRP propuesto en la referencia [3] el cual tiene como base un gráfico completo definido por $G = (V, A)$, donde $V = (0, 1, 2, \dots, n)$ es el conjunto de vértices y A es el conjunto de arcos posibles. Los vértices $i = 1, 2, \dots, n$ corresponden a los clientes, que a su vez pertenecen al

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.173>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

subconjunto N ; mientras que el vértice 0 corresponde al depósito.

$$\text{Min } \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0} = |K| \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subseteq N, S \neq \emptyset \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \quad (6)$$

Cabe indicar que x_{ij} es una variable binaria que vale 1 cuando por el arco (i, j) circula un vehículo, o cero en caso contrario. La función objetivo mostrada en (1) representa el costo total del recorrido, y el modelo buscará que sea el menor monto posible. La restricción (2) indica que cada cliente debe ser atendido solo por un vehículo y también garantiza que todos los clientes sean atendidos, mientras que la restricción (3) impone que el vehículo deberá partir de dicho cliente y seguir con su ruta. La restricción (4) indica que un número K de vehículos parten del depósito y que esta misma cantidad deberá retornar finalizando sus rutas. La restricción (5) impone los requerimientos de capacidad de carga para cada ruta. Finalmente, la restricción (6) define al modelo como uno entero binario.

Una de las extensiones de un VRP en el cual se consideran restricciones adicionales referentes a intervalos de tiempo para cada cliente se denomina VRPTW, por sus siglas en inglés. Un grupo de vehículos se encuentran localizados en un depósito y debe servir a un conjunto de clientes geográficamente dispersos, cada vehículo cuenta con una capacidad dada y cada cliente tiene una demanda asociada, la cual tiene que ser satisfecha dentro de un horario específico buscando minimizar el costo total del viaje [4]. Del mismo modo que en un VRP simple, se parte de un gráfico $G = (V, A)$ donde el depósito es representado por dos nodos $i = 0$ e $i = n+1$. Del mismo modo, se tiene un conjunto $N=V \setminus \{0, n+1\}$ el cual agrupa solo los clientes, y excluye a los nodos correspondientes al depósito, es decir 0 y $n+1$. Cada cliente i está asociado a un intervalo de tiempo $[a_i, b_i]$ llamado ventana de tiempo, donde a_i representa el momento en el que el cliente i está preparado para recibir el servicio, y b_i el instante máximo en el cual el cliente i podrá empezar a recibir el servicio.

Los parámetros del VRPTW son el tiempo que demora en recorrer el arco (i, j) denominado t_{ij} , las ventanas de tiempo $[a_i, b_i]$, así como el tiempo que durará brindar el servicio al cliente i denotado por s_i . También, los nodos que representan al depósito también tienen asociados una ventana de tiempo $[a_0, b_0] = [E, L]$, donde E representa el instante de tiempo más temprano para que los vehículos partan del depósito, mientras que L indica la llegada más tarde posible al nodo. Similar al caso básico de VRP, se emplea la variable x_{ijk} , para determinar si por el arco (i, j) circula el vehículo k o no. Agrega la variable w_{ik} que indica el inicio del servicio brindado al cliente i ,

mientras lo visita el vehículo k . Existe un conjunto $\Delta^+(i)$ de vértices j que pueden ser alcanzados desde i ; mientras que $\Delta^-(i)$ es el conjunto de vértices j desde los cuales se puede llegar a i .

El modelo de programación lineal entera mixta propuesto es el siguiente [5]:

$$\text{Min } \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} x_{ijk} \quad (7)$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (8)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{ijk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{ijk} = 0 \quad \forall j \in N, k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (11)$$

$$x_{ijk} (w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (12)$$

$$a_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq w_{ik} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (13a)$$

$$b_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \geq w_{ik} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (13b)$$

$$E \leq w_{0k} \quad \forall k \in K \quad (14a)$$

$$L \geq w_{0k} \quad \forall k \in K \quad (14b)$$

$$\sum_{i \in V} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq C \quad \forall k \in K \quad (15)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (16)$$

$$w_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in K \quad (17)$$

La función objetivo (7) expresa el costo total. La restricción (8) limita que a cada cliente i se le asigne solo un vehículo k , mientras que las restricciones (9), (10) y (11) indican las características de la ruta a seguir por cada vehículo k . La restricción (12) define la lógica de secuencia del servicio en términos de tiempo. Cabe resaltar que es una restricción no lineal por lo que deberá ser modificada en el capítulo 3. Las restricciones (13) y (14) garantizan la factibilidad con respecto a las ventanas de tiempo dadas; en particular la restricción (15) garantiza que cada vehículo k tenga la capacidad suficiente para satisfacer todas las demandas de los clientes involucrados en el circuito que le corresponda. La restricción (16) define la variable x_{ijk} como binaria y la restricción (17) indica que el rango de existencia de w_{ik} es no negativo.

II. METODOLOGÍA PROPUESTA

A. Programación de puntos de reparto

En una etapa previa al ruteo propiamente dicho se debe escoger qué puntos de venta visitar en cada semana. Para ello se tiene en cuenta la proyección de la demanda en cada punto por semana. Repartir productos cada semana a la totalidad de puntos de venta resultaría muy ineficiente pues elevaría los costos logísticos considerablemente. En algunos negocios es factible guardar una cantidad de productos como inventario que se irá consumiendo a lo largo de las semanas. Esto da flexibilidad en la logística de reducir la frecuencia con la que se reparten estos bienes.

Con este fin se propone el un modelo de programación lineal entera mixta donde el conjunto A representa los puntos de venta a los que se tiene que repartir productos y el conjunto S son las semanas en las que se está realizando el análisis.

Se tienen las siguientes variables:

P_{ij} = Cantidad de productos entregados al punto de venta i en la semana j .
 y_{ij} = Decisión de entregar productos al punto de venta i en la semana j .
 IF_{ij} = Inventario de productos al finalizar la semana j en el punto de venta i .

Los parámetros del modelo son los siguientes:

$demanda_{ij}$ = Cantidad demandada de productos en el punto de venta i en la semana j .

II_i = Inventario de productos al inicial la semana 1 en el punto de venta i .

$CapPV$ = Monto máximo de productos que un punto de venta podría almacenar en cada semana.

$MinPV$ = Monto mínimo de productos que un punto de venta debería recibir en una visita.

$CapSem$ = Monto máximo de productos a distribuir en cada semana.

El modelo es el siguiente:

$$\text{Min } \sum_{i \in A} \sum_{j \in S} y_{ij} \quad (18)$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$IF_{ij} = II_i + P_{ij} - demanda_{ij} \quad \forall i \in A, j = 1 \quad (19)$$

$$IF_{ij} = IF_{i,j-1} + P_{ij} - demanda_{ij} \quad \forall i \in A, j > 1 \quad (20)$$

$$IF_{ij} > II_{ij} \quad \forall i \in A, j = s \quad (21)$$

$$IF_{ij} \leq CapPV \quad \forall i \in A, j \in S \quad (22)$$

$$P_{ij} \geq MinPV y_{ij} \quad \forall i \in A, j \in S \quad (23)$$

$$\sum_{i \in A} P_{ij} \leq CapSem \quad \forall j \in S \quad (24)$$

$$P_{ij} \leq M y_{ij} \quad \forall i \in A, j \in S \quad (25)$$

$$P_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in A, j \in S \quad (26)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in A, j \in S \quad (27)$$

$$IF_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in A, j \in S \quad (28)$$

El modelo busca minimizar el número de visitas a los puntos de venta dentro del horizonte de tiempo del análisis. Las restricciones (19) y (20) dan la lógica de rotación de inventarios considerando un inventario inicial como dato para la primera semana y la restricción (21) indica que se debe cerrar el horizonte de tiempo con al menos la misma cantidad con la que se empezó. La restricción (22) limita la capacidad de almacenamiento de cada punto de venta, mientras que la restricción (23) que en cada punto de venta que se visite se entregue al menos un mínimo de productos, y la restricción (24) garantiza que no se reparta más de un tope cada semana. La restricción (25) condiciona a la variable y_{ij} a tomar el valor de 1 solo cuando efectivamente se repartan productos al punto de venta i en la semana j . Las últimas tres restricciones indican el rango de existencia de las variables.

Una vez resuelto este modelo se obtiene la programación de qué puntos de venta visitar en cada semana para la entrega de productos. Con estos resultados recién se planificará en qué orden se visitará cada punto de venta.

B. Plan de distribución

La siguiente etapa es el plan de distribución en cada semana sobre los puntos de venta que se visitarán. Se desarrollará un VRP que considere el requerimiento de los puntos de venta por semana. El modelo original del VRP está basado en un grafo $G = (V, A)$ que representan los vértices y arcos, respectivamente. Se añadirá un nuevo conjunto S el cual indica las semanas dentro del horizonte de tiempo. Esta modificación altera la variable de decisión x_{ij} de la siguiente manera:

$$x_{ijs} = \text{Decisión de tomar o no el arco } ij \text{ en la semana } s.$$

Algunos softwares de optimización como AMPL tienen la opción de iterar escenarios modificando parámetros del modelo. En este caso, se podría iterar para cada semana del conjunto S y que el programa entregue un reporte por cada iteración. En otras palabras, en la primera iteración se utilizará la variable x_{ij} , y así sucesivamente. De este modo se tiene un modelo bidimensional como el original y se reduce la complejidad computacional.

En algunos escenarios es importante tener en consideración los horarios en los que los puntos de venta pueden aceptar mercadería. En estos casos, se recomienda trabajar con un modelo VRPTW pues considera ventanas de tiempo según la disponibilidad de cada punto de venta. Similar al caso anterior se le añade un conjunto de semanas S para hacer el cálculo en cada una de ellas.

III. CASO DE ESTUDIO

A inicios de año se instalaron 82 módulos de auto atención en agencias seleccionadas de un banco en Lima Metropolitana en las que se pueden abrir nuevas cuentas de ahorro sin necesidad de interactuar con un asesor de ventas. En la Tabla I se indica en qué distritos se ubican estas 82 agencias. Estos módulos entregan tarjetas plásticas de débito al cliente solicitante demorando 5 minutos aproximadamente en toda la operación.

TABLA I
CANTIDAD DE AGENCIAS POR DISTRITO

Distrito	Agencias
Barranco	2
Chorrillos	7
La Molina	11
Lurín	2
Miraflores	14
San Borja	10
San Juan de Miraflores	4
Santiago de Surco	19
Surquillo	6
Villa El Salvador	4
Villa María Del Triunfo	3
Total	82

Al ser una etapa de piloto la demanda de tarjetas plásticas fue muy variable y se realizaba una revisión diaria del stock disponible dentro de los módulos. Si al finalizar un día quedaban menos de 5 tarjetas plásticas disponibles, se notificaba a la sede central para que, al día siguiente por la mañana, envíe un lote para rellenar el módulo. Como etapa de piloto la situación fue manejable pero la demanda de tarjetas ya se ha estabilizado y salir a repartir diariamente a casi todas las agencias ha incrementado los costos logísticos asociados.

En el primer trimestre tuvo un inicio con baja demanda porque era un concepto nuevo en la agencia; sin embargo, en el segundo semestre ya se tienen resultados más estables. En la Figura 1 se ilustra la dispersión de la demanda que tuvo cada una de las agencias en el mes de junio cuando el número de tarjetas plásticas requerido ya se había estabilizado. Se puede observar que cada agencia tiene una realidad distinta dependiendo de la demanda. Algunas tienen una rotación mensual de casi 500 tarjetas plásticas, mientras que otras presentan un comportamiento opuesto consumiendo solo 20 al mes.

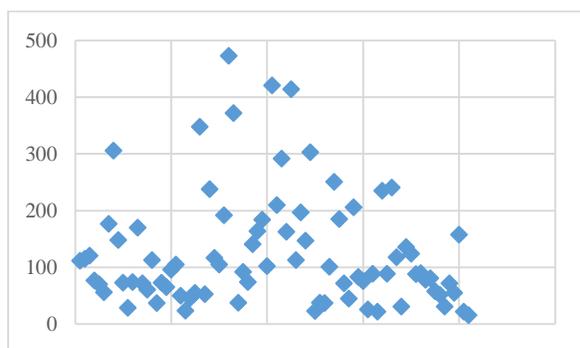


Fig. 1 Demanda de tarjetas plásticas por agencia

Como principal parámetro se necesita estimar cuánto sería la cantidad de tarjetas demandadas en cada semana por cada agencia. Se realizó una proyección de la demanda semanal para el segundo semestre del año en cada una de las 82 agencias evaluadas como se ilustra en la Figura 2. Esta proyección respeta la estacionalidad del mes, como por ejemplo la reducción en el volumen de tarjetas de noviembre y diciembre. El detalle de esta proyección se hizo a nivel de semana y de agencia individualmente.

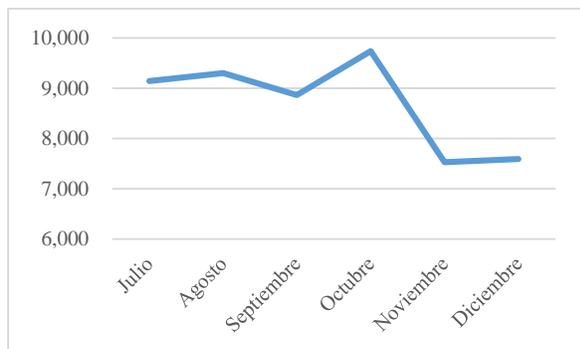


Fig. 2 Demanda total proyectada mensual

Utilizando esta información se elaboró el modelo propuesto de programación de puntos de reparto. Se tuvo como parámetros adicionales el inventario inicial de tarjetas para cada agencia que, en otras palabras, representa la cantidad de tarjetas dentro del módulo de auto atención al cierre del mes de junio. Para complementa esto último, también se considera que al cierre de diciembre tenga un stock por lo menos igual al que se tenía al iniciar julio. Además se consideró que la cantidad máxima que puede almacenar este módulo son 500 tarjetas plásticas cada uno y la cantidad mínima que se puede entrar a una agencia son 50 tarjetas para que justifique la visita. Por otro lado, la cantidad máxima distribuida en una semana es de 10 000 tarjetas por capacidad del proveedor. En la Figura 3 se muestra la cantidad de puntos a visitar y cuánto se distribuye cada semana del segundo semestre 2017.

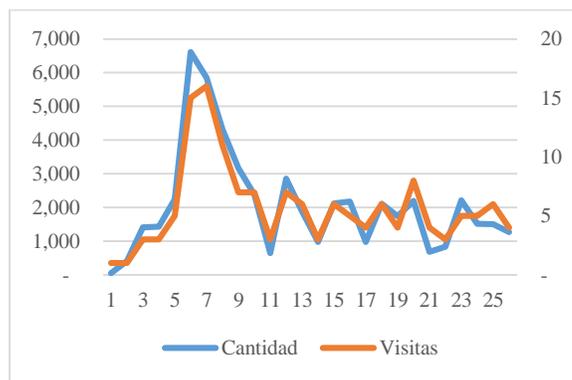


Fig. 3 Requerimientos para el segundo semestre 2017

Se observa que la semana con más carga es la séptima con 16 visitas; sin embargo, las demás tienen en promedio 5 visitas programadas. La ventaja se da principalmente porque en la semana i se visita un grupo de agencias y en la semana $i+1$ se distribuye a un grupo diferente. Las agencias con mayor demanda se visitan hasta 6 veces en el semestre, mientras que aproximadamente la mitad solo es necesario visitarla una vez en todo este periodo. Esto ya presenta una ventaja pues actualmente la unidad vehicular dedica gran parte de su tiempo a la distribución de tarjetas cuando el banco también la necesita para otros fines.

Ya con esta programación de despacho se puede realizar un plan de distribución para cada semana con las agencias seleccionadas en cada una de ellas. El modelo elegido es un VRPTW pues las agencias solo pueden recibir las tarjetas en el horario en el que están atendiendo, es decir de 9am a 6pm. La matriz de distancia se calculó con base en la ubicación geográfica de las agencias y la distancia lineal entre una y otra. Para ajustar esta distancia a un escenario más real se multiplicó por un factor de 1.41 que aproxima al trayecto que un vehículo sigue para llegar de un punto a otro. La velocidad de cada vehículo se estimó en 20km/h pues considera congestiones de tráfico. En cada agencia se estima que el vehículo permanece esperando 15 minutos mientras se abastece el módulo de auto atención con las tarjetas.

El modelo VRP desarrollado ya no tomaría las 82 agencias, sino solo un grupo, lo que agiliza el tiempo de ejecución del programa pues se reduce el número de variables y de restricciones. En la Tabla II se muestra el detalle de la distancia recorrida cada semana, así como el tiempo empleado en la distribución.

TABLA II
TOTAL RECORRIDO EN EL SEMESTRE

Semana	Distancia	Visitas	Tiempo recorrido	Tiempo servicio	Tiempo total
1	19.42	1	0.97	0.25	1.22
2	0.03	1	0.00	0.25	0.25
3	74.38	3	3.72	0.75	4.47
4	41.29	3	2.06	0.75	2.81
5	36.98	5	1.85	1.25	3.10
6	69.41	15	3.47	3.75	7.22
7a	40.30	8	2.01	2.00	4.01
7b	76.52	8	3.83	2.00	5.83
8	96.00	11	4.80	2.75	7.55
9	62.13	7	3.11	1.75	4.86
10	70.50	7	3.52	1.75	5.27
11	29.03	3	1.45	0.75	2.20
12	89.49	7	4.47	1.75	6.22
13	36.86	6	1.84	1.50	3.34
14	31.11	3	1.56	0.75	2.31
15	52.72	6	2.64	1.50	4.14
16	60.43	5	3.02	1.25	4.27
17	41.95	4	2.10	1.00	3.10
18	92.61	6	4.63	1.50	6.13
19	25.99	4	1.30	1.00	2.30
20	68.83	8	3.44	2.00	5.44
21	51.14	4	2.56	1.00	3.56
22	59.52	3	2.98	0.75	3.73
23	65.03	5	3.25	1.25	4.50
24	73.19	5	3.66	1.25	4.91
25	83.46	6	4.17	1.50	5.67
26	35.28	4	1.76	1.00	2.76
Total	1483.59	148	74.18	37.00	111.18

Se puede apreciar que en cada semana se realiza un único viaje a excepción de la semana 7 pues sobrepasaría la ventana de tiempo general si se distribuye en un solo circuito. Hay semanas con mayor holgura que otras debido a que tiene una menor carga de visitas y la unidad vehicular puede emplearse para otros fines. En cada semana, el vehículo dedica solo parte de un día, salvo la séptima semana que son 2 días, en repartir tarjetas por lo que todo el tiempo restante está disponible para

otras tareas. En total se recorrerá 1 483.59 kilómetros en 27 viajes visitando en promedio 5 agencias por viaje.

IV. CONCLUSIONES

La metodología propuesta es aplicable a empresas que presenten una sede central desde la cual se reparte mercadería a diversos puntos de venta esparcidos dentro de una región. Para el caso de estudio la sede central abastecía de tarjetas de débito a las agencias de una región en Lima Metropolitana.

El vehículo se tiene disponible 40 horas a la semana por lo que serían 1 040 horas en el semestre analizado. Es decir, se logró minimizar el tiempo que dedica el vehículo a la repartición de tarjetas de ahorro a un 11% del tiempo total disponible. Sin considerar la propuesta el tiempo dedicado sería muy cercano a la mitad del tiempo total teniendo visitas diarias a las agencias.

Esta mejora fue resultado de esta metodología propuesta de dos fases: la primera logra reducir el número de agencias visitadas en cada semana y la segunda fase minimiza el recorrido en cada una de estas visitas.

En el caso de estudio no hubo una limitante computacional al momento de resolver los modelos pues la semana con mayor carga tuvo 16 agencias. Debido a la complejidad de los VRP solo problemas con pocos clientes, hasta aproximadamente 50, pueden ser resueltos eficientemente por métodos exactos [1]. Para solucionar esto, se han desarrollado numerosos métodos heurísticos que son procedimientos que buscan obtener una solución factible muy buena, pero no garantiza que sea la óptima al problema en cuestión [6]. En caso se tuviesen semanas con mayor carga de número de visitas sería necesario el uso de heurísticas para VRP [7], [8], [9].

REFERENCIAS

- [1] P. Toth y D. Vigo, "The vehicle routing problem", SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2002.
- [2] G. Dantzig y J. Ramser, "The truck dispatching problem", Management science, 6(1), 80-91, 1959.
- [3] P. Toth y D. Vigo, "Vehicle routing: problems, methods and applications", SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2014.
- [4] Desrochers, M., Lenstra, J. K., Savelsbergh, M. W., & Soumis, F. (1988). Vehicle routing with time windows: optimization and approximation. Vehicle routing: Methods and studies, 16, 65-84.
- [5] Cordeau, J.-F., Desaulniers, G., Desrosiers, J., Solomon, M.M., & Soumis, F. (2000). The VRP with time windows. GERAD. Montréal.
- [6] Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). Introducción a la investigación de operaciones, McGraw Hill. New York.
- [7] G. Clarke y J. Wright, "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", Operations research, 12(4), 568-581, 1964.
- [8] B. Gillett y L. Miller, "A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem", Operations research, 22(2), 340-349, 1974.
- [9] N. Labadie, C. Prins y C. Prodhon, "Metaheuristics for Vehicle Routing Problems", John Wiley & Sons, 2016.