

Tesis de Magister en Gestión de Operaciones de la
Universidad de Chile

**Título: "Ruteo de vehículos con ventanas de tiempo
para una cadena de supermercados regional en Chile"**

Alumno: Enrique Acuña

Profesor guía: Pablo Rey

Profesores co-guía: Guillermo Durán y Andrés Weintraub

Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos para aquellos que de alguna u otra forma aportaron positivamente al desarrollo y término de este trabajo, a mis compañeros del proyecto que me aconsejaron, a mi familia que siempre me apoyó, a mi polola que siempre tuvo una palabra de aliento para mí, y en especial a mis profesores guías Guillermo Durán, Pablo Rey y Andrés Weintraub.

Tabla de contenido

Resumen Ejecutivo	4
1 Introducción	5
2 Situación actual.....	7
2.1 La Empresa	7
2.2 La cadena de abastecimiento.....	8
3 Definición del problema a resolver.....	17
4 Objetivos	18
4.1 Objetivo general	18
4.2 Objetivos específicos	18
5 Metodología a utilizar.....	19
6 Trabajos y literatura relacionada.....	21
7 Desarrollo de una metodología de atención para los PDV	25
7.1 Situación de los puntos de venta.....	25
7.2 Primeros pasos de la metodología propuesta para los PDV	27
7.3 Pasos finales de la metodología propuesta para los PDV.....	28
7.4 Contingencias a considerar	29
8 Desarrollo del modelo de optimización para el transporte	33
8.1 Explicación del modelo.....	34
8.2 Parámetros.....	35
8.3 Variables	38
8.4 Función Objetivo	39
8.5 Restricciones.....	39
9 Implementación.....	46
9.1 Definición de la línea base	46
9.2 Resultados obtenidos con el modelo de optimización.....	49
9.3 Reducción del tiempo de solución.....	52
9.4 Análisis de los resultados	56
10 Conclusiones	59
11 Recomendaciones	60
12 Bibliografía	61
13 Anexos.....	63

Índice de tablas y figuras

Tabla 1: Calendario de despachos a puntos de venta.	11
Tabla 2: Camiones de Empresas Bravo y sus capacidades.	12
Figura 1: Diagrama de flujo de la atención en los PDV.....	32
Tabla 3: Costo ruteo de vehículos mes de Octubre 2005.	48
Tabla 4: Resultados de la implementación del modelo lineal (VRPTW).	50
Figura 2: Número de días con mejoras Octubre 2005.	51
Tabla 5: Resultados implementando la nueva restricción.	55
Tabla 6: Resultado conjunto.	57
Tabla 7: Resumen de resultados.	57

Resumen Ejecutivo

El siguiente trabajo presenta la implementación de un modelo de programación lineal para el ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW), utilizado para resolver el problema operacional que enfrenta día a día Empresas Bravo en la distribución de palets a sus puntos de venta desde su centro de distribución ubicado en la VI región.

Empresas Bravo opera entre la VI y la X región, pero cuyo centro de distribución ubicado en Curicó solamente abastece, de forma periódica, a los 18 puntos de venta ubicados entre la VI y VII región. Según la calendarización de la empresa diariamente se abastecen entre 6 y 8 puntos de venta. Este número varía dependiendo de las necesidades de los puntos de venta, aunque rara vez se abastecen a más de 8 en un mismo día.

Con los datos suministrados por la empresa se implementó y resolvió el modelo VRPTW, haciendo una prueba con el mes de Octubre de 2005. Los resultados obtenidos se compararon con el ruteo que genera de forma manual el administrador de los camiones.

El resultado final es una reducción en los costos de transporte de un 3,73%, lo que representa 120.000 pesos en el mes de Octubre. Este ahorro no resulta significativo para la empresa. Los tiempos de solución no superan los 18 minutos para las instancias implementadas, lo que constituye un buen tiempo para la percepción de la empresa.

El ahorro obtenido es ampliamente superado por el costo de implementar el modelo presentado, por lo tanto no resulta rentable su implementación. Se recomienda revisar periódicamente el desempeño del administrador con respecto al moldeo VRPTW para estudiar si se justifica ponerlo en práctica o no.

1 Introducción

En la industria del retail la logística se ha vuelto un tema central puesto que permite mejorar la planificación y coordinación entre los distintos elementos que componen la cadena de abastecimiento. En este contexto cobran particular importancia los temas de pronóstico de la demanda, manejo de inventario y ruteo de vehículos, debido a la gran posibilidad que abren de reducir los costos de la cadena de abastecimiento y así reportar mejores dividendos tanto para la empresa como para el cliente.

Esta tesis se enmarca en el proyecto Fondef: "Desarrollo de tecnologías de gestión para aumentar la productividad de cadenas de abastecimiento de industrias de consumo masivo: aplicación al caso supermercados". El objetivo principal es el desarrollo de herramientas replicables para la logística en una cadena de supermercados regional. Este proyecto aborda el estudio y desarrollo de distintos modelos para optimizar el área logística, el área de control de procesos y el área de marketing. Dentro del área logística destacan los siguientes temas: predicción de la demanda, manejo de inventario tanto en los puntos de venta como en el centro de distribución, y el ruteo de vehículos.

El objeto de estudio de esta tesis es el ruteo de vehículos que actualmente está utilizando la empresa BRYC para el reparto de los productos a los puntos de venta de la cadena de supermercados desde el centro de distribución.

Abordar el tema del ruteo de vehículos puede constituir un gran aporte a la industria de supermercados y del retail, debido a que, actualmente una parte importante del costo de los productos que compra el cliente en la sala de ventas se debe al costo de transporte. Por lo tanto un ahorro en este ítem puede significar automáticamente un ahorro para la empresa como para el cliente. De

esta manera la empresa beneficiada puede transformarse en una cadena de supermercados más competitiva a nivel nacional.

Es por este motivo que puede resultar de mucha utilidad tener una herramienta que ayude a determinar un ruteo óptimo en términos económicos y de cumplimiento con los puntos de venta, ya que puede constituir una fuente importante de ahorros y también puede ayudar a mejorar la calidad del servicio entregado. Bajo ciertas circunstancias puede incluso ayudar a mejorar la calidad de vida de los conductores de los camiones.

Dentro de este contexto el tema principal de la tesis es generar una herramienta eficaz y eficiente para el ruteo de vehículos, con ventanas de tiempo, que permita satisfacer la demanda de los puntos de venta de una cadena de supermercados desde su centro de distribución y que pueda ser replicable para otras empresas en el área del retail.

2 Situación actual

2.1 La Empresa

Empresas Bravo es una cadena de supermercados regional que opera en el sur de Chile desde la VI hasta la X región. A mediados del 2004 tenía una participación del 1,3% del mercado y planea llegar al 2,5% a principios del año 2006, basados en una política de apertura de nuevos puntos de venta. La empresa tiene ventas por más de 70.000 millones de pesos al año, y planea duplicar el número de salas de venta en un futuro muy cercano.

Cuenta con varios formatos para los puntos de venta de sus productos entre la VI y la X región. Estos formatos se clasifican en tres tipos: supermercados BRYC, Mayorista 10, y Punto Útil. Las características de estos locales se detallan más adelante en el punto 2.2.4.

En particular entre la VI y VII región cuenta con 18 puntos de venta, los cuales se distribuyen de la siguiente forma: 14 BRYC, 2 Mayorista 10, y 2 Punto Útil. Todos estos puntos de venta son abastecidos de forma mixta por el centro de distribución de Curicó y por proveedores locales. El despacho de los productos desde el centro de distribución a los puntos de venta se realiza por medio de camiones de la empresa y en algunos casos se subcontrata camiones externos.

Las oficinas comerciales se ubican a un costado del centro de distribución de Curicó, siendo las encargadas de coordinar las distintas actividades de la empresa.

Empresas Bravo no cuenta con salas de gran tamaño, es decir no supera los 1.000 metros cuadrados a excepción de su local en Santa Cruz con 2.500

metros cuadrados, y cada supermercado maneja aproximadamente 6000 productos (SKU).

Actualmente Empresas Bravo cuenta con otro centro de distribución en Temuco (CD Temuco) el cual abastece a los puntos de venta de la IX y X región, y trabaja de forma similar al centro de distribución de Curicó (CD Curicó). Este centro de distribución de Temuco se maneja como un punto de venta para el centro de distribución de Curicó, la única diferencia es que se contrata un camión externo para abastecerlo cada vez que es necesario.

Todos los datos anteriormente citados fueron entregados por la empresa durante las reuniones de trabajo realizadas los años 2004 y 2005.

2.2 La cadena de abastecimiento

La cadena de abastecimiento de Empresas Bravo en Curicó está compuesta por los siguientes eslabones: proveedores, un centro de distribución, 6 camiones, y 18 puntos de venta que atienden directamente a los clientes. A continuación se detalla cada uno de los eslabones de la cadena de suministro de Empresas Bravo y la dinámica que existe entre ellos.

2.2.1 Proveedores

Los proveedores de Empresas Bravo tienen dos maneras de operar: mandan los productos al centro de distribución (CD Curicó), o mandan directamente los productos a los puntos de venta. Esta decisión depende del proveedor, de la negociación que Empresas Bravo haga con él, y del tipo de producto. La mayor parte de los perecibles son enviados directamente a los puntos de venta y una gran parte de los no perecibles son enviados al centro de distribución. Los que posteriormente son enviados a los puntos de venta con los camiones de la empresa.

La capacidad de respuesta de los proveedores es poco confiable ya que no son capaces de cumplir con el horario de llegada al centro de distribución y a los puntos de venta. Normalmente registran retrasos de uno o dos días. Esto se traduce en mayores niveles de inventario, o en quiebres de inventario, lo que por un lado significan mayores costos de almacenamiento, y por el otro, pérdidas por ventas no realizadas.

2.2.2 El centro de distribución

El centro de distribución (de ahora en adelante CD) está ubicado en la cercanías de la ciudad de Curicó y se usa principalmente para almacenar productos no perecibles. Hay que recordar que originalmente Empresas Bravo partió con Abarrotes Bravo, y que por lo tanto sólo vendían abarrotes. A raíz de esto es natural que la mayor parte de los productos que pasan por el CD sean abarrotes. Adicionalmente, por un asunto de costos y de higiene, a Empresas Bravo no le conviene tener perecibles en este lugar, ya que sólo cuentan con unas pocas cámaras de frío.

El CD recibe productos de los distintos proveedores y luego los despacha a los puntos de venta con los camiones de la empresa. El procedimiento simplificado es el siguiente: los puntos de venta hacen su solicitud de productos al CD, este chequea en su inventario la existencia de los productos demandados, y arma los palets¹ con los productos disponibles, y los envía a los puntos de venta con los camiones de la empresa.

Dependiendo de las ofertas que realicen los proveedores, Empresas Bravo decide los volúmenes que compra a sus proveedores. En caso de comprar volúmenes muy grandes de algún producto estos van a dar

¹ Los palets son la unidad de trabajo que utiliza la empresa para el área de transporte, se trata de una base madera de 1 por 1,2 metros para apilar los productos.

directamente al CD quien tiene que encargarse de distribuirlos a los distintos puntos de venta. Debido a este mecanismo de compra el centro de distribución no cuenta siempre con el mismo mix de productos, lo que provoca confusiones con los puntos de venta que tienden a solicitar productos que ni siquiera se encuentran en inventario en el centro de distribución.

El centro de distribución cuenta con un calendario semanal de despachos para los puntos de venta, es decir cada punto de venta tiene días en la semana en los cuales puede solicitar que se envíen productos en caso de ser necesario. Para esto los puntos de venta tienen que enviar su solicitud de productos según los horarios que se les hayan sido asignados.

En la práctica este calendario no siempre se cumple ya que a veces deben abastecer puntos de venta con quiebre de inventario fuera de los días que establece el calendario.

A continuación se presenta el calendario de días de despacho a los distintos puntos de venta que abastece el CD de Curicó:

Punto de Venta	Recepción pedido	Despacho
Bryc 1, Curicó	Lunes hasta 17:00 hrs.	Martes
	Miércoles hasta 17:00 hrs.	Jueves
	Viernes hasta 17:00 hrs.	Sábado
Bryc 2, Curicó	Hasta domingo	Lunes
	Miércoles hasta 17:00 hrs.	Jueves
Bryc 3, Molina	Hasta domingo	Lunes
	Martes hasta 17:00 hrs.	Miércoles
	Jueves hasta 17:00 hrs.	Viernes
Bryc 5, Teno	Martes hasta 17:00 hrs.	Miércoles
	Viernes hasta 17:00 hrs.	Sábado
Bryc 7, Cauquenes	Lunes hasta 17:00 hrs.	Martes
	Miércoles hasta 17:00 hrs.	Jueves
Bryc 8, Constitución	Viernes hasta 17:00 hrs.	Lunes
	Martes hasta 17:00 hrs.	Miércoles

Bryc 9, Curicó	Hasta domingo	Lunes
	Martes hasta 17:00 hrs.	Miércoles
	Jueves hasta 17:00 hrs.	Viernes
Bryc 12, Curicó	Lunes hasta 17:00 hrs.	Martes
	Miércoles hasta 17:00 hrs.	Jueves
	Viernes hasta 17:00 hrs.	Sábado
Bryc 16, Curicó	Hasta domingo	Lunes
	Miércoles hasta 17:00 hrs.	Jueves
Bryc 19, Santa Cruz	Lunes hasta 17:00 hrs.	Martes
	Jueves hasta 17:00 hrs.	Viernes
Bryc 20, Molina	Lunes hasta 17:00 hrs.	Martes
	Viernes hasta 17:00 hrs.	Sábado
Bryc 27, Rancagua	Lunes hasta 12:00 hrs.	Martes
	Jueves hasta 12:00 hrs.	Viernes
Bryc 28, Molina	Hasta domingo	Lunes
	Miércoles hasta 17:00 hrs.	Jueves
Bryc 30, Las Cabras	Lunes hasta 12:00 hrs.	Martes
	Jueves hasta 12:00 hrs.	Viernes
Mayorista 10, Curicó	Hasta domingo	Lunes
	Martes hasta 17:00 hrs.	Miércoles
	Jueves hasta 17:00 hrs.	Viernes
Mayorista 10, Rancagua	Martes hasta 12:00 hrs.	Miércoles
	Viernes hasta 12:00 hrs.	Sábado
Punto Útil, Lontué	Lunes hasta 17:00 hrs.	Martes
	Jueves hasta 17:00 hrs.	Viernes
Punto Útil, Romeral	Martes hasta 17:00 hrs.	Miércoles
	Viernes hasta 17:00 hrs.	Sábado

Tabla 1: Calendario de despachos a puntos de venta.

Como se puede ver en la tabla los días de despacho son de Lunes a Sábado, excluyendo festivos, en los cuales no se realiza distribución alguna de productos a los puntos de venta.

El centro de distribución también realiza ventas a terceros, o clientes externos para los cuales entrega de forma no paletizada los productos. Se

consideran clientes externos todos aquellos clientes del centro de distribución que no pertenezcan a Empresas Bravo

2.2.3 Los camiones

Empresas Bravo cuenta con 6 camiones para el despacho de productos a los distintos puntos de venta. Estos camiones tienen distintas características operacionales, es decir, distintas capacidades, costos, tiempos de viaje, y tiempos de descarga en los puntos de venta. Los costos de transporte incluyen: salarios de los conductores, mantenciones, neumáticos, y bencina. Es decir todos los costos que hacen posible poner en marcha el camión.

Las capacidades de los camiones se presentan en la siguiente tabla:

Patente Camión	Capacidad en palets	Costo (pesos/Km.)
NY-8300	8	254
UU-5601	12	350
UU-9338	24	350
AX-8696	12	350
SK-4431	12	350
JD-7697	18	400

Tabla 2: Camiones de Empresas Bravo y sus capacidades.

Como se observa en la tabla 2 Empresas Bravo cuenta con 1 camión de 8 palets, 3 camiones de 12 palets, 1 camión de 18 palets, y 1 de 24 palets. Estos dos últimos camiones (18 y 24 palets), por su tamaño, no pueden abastecer a ciertos puntos de venta, ya que no pueden entrar por las calles que los rodean. El resto de los camiones puede abastecer a todos los puntos de venta sin ningún problema. El camión de 24 palets no es más que un camión de 12 palets al cual se le acopla un carro con capacidad de 12 palets más. Por indicaciones del administrador de los camiones se considera el mismo costo para este camión que para los otros de 12 palets.

Las principales limitaciones que tienen los camiones, son el peso, y el volumen que son capaces de transportar, pero debido a la densidad de los productos que deben transportar, la única restricción que se toma en cuenta por la empresa es la de la capacidad en palets del camión. Esto se debe a que la restricción de peso siempre queda inactiva.

La autonomía de viaje no constituye una limitación debido a la extensa red de gasolineras dispuestas en la zona de interés para este estudio, es decir la VI y VII región.

Actualmente el ruteo lo realiza el encargado de administrar los camiones que tiene la empresa. Para realizarlo utiliza su experiencia en el tema, y no cuenta con ninguna herramienta que le facilite esta tarea.

En el día a día, el centro de distribución arma los pedidos en la tarde, después de recibir las solicitudes de los puntos de venta, para despacharlos en la mañana del día siguiente, o durante la mañana para despacharlos en la tarde.

Según información proporcionada por el administrador de los camiones, logran cumplir con un nivel de servicio² de entre el 85% y el 93%, es decir la entrega en 24 horas dentro de Curicó y en 36 horas en Cauquenes, Constitución, y Santa Cruz. Estos últimos tres puntos de venta son totalmente abastecidos por el centro de distribución, es decir no reciben a ningún camión aparte de los de Empresas Bravo.

Para realizar el reparto a terceros, también llamados clientes externos, Empresas Bravo utiliza los mismos camiones que para el despacho a los puntos de venta. Los clientes externos pertenecen a diferentes rutas que ha diseñado el

² El nivel de servicio es la capacidad que tiene la empresa para abastecer oportunamente la demanda de sus puntos de venta.

administrador de los camiones. Cada vez que se abastece una ruta de clientes externos no se puede contar en todo el día con el camión que se fue despachado. Producto de esta política de uso de los camiones sólo se puede contar con los camiones remanentes que quedan en el centro de distribución para realizar los despachos a los puntos de venta.

La coordinación entre los distintos camiones, los puntos de venta, los clientes externos y el centro de distribución se realiza por medio de agendas electrónicas y celulares.

En caso de registrarse un quiebre de inventario en un punto de venta y de no disponer de camiones para enviar los productos, el centro de distribución cuenta con un par de camionetas para realizar esto abastecimientos de última hora. El problema es que esto desincentiva a realizar una mejor predicción de de la demanda y manejo de inventario puesto que si algo falta en el punto de venta, se puede llevar en alguna de las dos camionetas.

2.2.4 Los puntos de venta (PDV)

Como se ha mencionado anteriormente los puntos de venta de la empresa están ubicados entre la VI y la X región. En especial entre la VI y la VII región hay 18 y tienen tres formatos: supermercados BRYC, Mayorista 10 y Punto Útil. Son atendidos por los camiones del centro de distribución según la calendarización definida por el mismo CD de Curicó, y se distribuyen de la siguiente forma: 14 supermercados BRYC, 2 Mayorista 10, y 2 Punto Útil.

No existen horarios prefijados para el arribo de los camiones del centro de distribución, ni para los camiones de los proveedores. Según información suministrada por la empresa, un punto de venta puede recibir de 30 a 40 camiones promedio en un mismo día, a excepción de los puntos de venta de

Cauquenes, Constitución, y Santa Cruz, los cuales son abastecidos sólo por los camiones del centro de distribución.

La capacidad de recepción de los puntos de venta depende del espacio de descarga que tengan (patio de descarga) para dejar los productos que traen los camiones, y de los medios de descarga propios con los que cuenten. No todos los puntos de venta cuentan con una grúa para bajar los palets de los camiones. En ciertos puntos de venta la descarga debe ser manual, a menos que el camión que se envíe tenga una plataforma de descarga incorporada. En el caso manual la descarga de un camión completo toma hasta tres horas.

2.2.5 Los clientes

Los clientes de Empresas Bravo se pueden dividir principalmente en dos categorías: clientes internos y externos.

Los clientes internos son los puntos de venta que venden al público general. Estos locales registran “peaks” de demanda principalmente a fines, a principio, y a mediados del mes, aunque a mediados de mes son menos pronunciados. La empresa explica que esto se produce puesto que sus clientes aprovechan la liquidez que tienen para aprovisionarse. Por lo tanto las fechas de pago (principio, mediado y final de mes) coinciden con los peaks de demanda.

Los clientes externos son principalmente almaceneros de la zona (VI y VII región). Son abastecidos por los mismos camiones de la empresa pero dependiendo de la ruta a la que pertenezcan y con camiones cargados a piso. Cuando un camión se carga a piso no se usan palets, solamente se va llenando el camión de forma manual como si fuera una caja.

Empresas Bravo otorga crédito a algunos clientes externos dependiendo de su capacidad de pago oportuno. Cuando el camión llega al cliente externo que no tienen crédito éste se queda sólo con los productos que pueda ser capaz de pagar en el momento, el resto de los productos vuelve con el camión al centro de distribución. Es por este motivo que no todo lo que se carga en el camión se deja en los clientes externos.

3 Definición del problema a resolver

Actualmente la empresa cuenta con oportunidades de mejora en el área logística a lo largo de toda la cadena de suministro. En particular destaca el pronóstico de la demanda, el manejo de inventario, tanto en los puntos de venta como en el centro de distribución, y el ruteo de los camiones.

El foco de esta tesis es el estudio del sistema de ruteo que utiliza actualmente la empresa para realizar el despacho de productos desde el centro de distribución a los puntos de venta y el desarrollo de un modelo para reducir los costos de transporte.

El administrador de los camiones genera de forma manual el ruteo de los camiones para el despacho de los productos a los puntos de venta, basándose principalmente en su experiencia en el tema. El administrador busca obtener el ruteo económico para la distribución diaria que realiza, asegurando que todos los puntos de venta reciban todos los palets que solicitaron al centro de distribución.

Debido a la ausencia de una herramienta computacional, o metodología, para generar los ruteos, es muy probable lograr mejoras en costos y en el nivel de servicio entregado a los puntos de venta.

La idea es generar una herramienta computacional que asista el ruteo económico de los camiones, considerando ventanas de tiempo, para abastecer a los puntos de venta. El concepto de las ventanas de tiempo permite asegurar un buen nivel de servicio.

4 Objetivos

El objetivo de esta tesis es analizar el sistema actual de ruteo y generar una herramienta computacional que asista el ruteo diario de la empresa para facilitar la toma de decisiones operacionales que enfrenta el administrador de los camiones en el despacho de palets a los puntos de ventas.

4.1 Objetivo general

- Generar una herramienta computacional que asista al ruteo de vehículos con ventanas de tiempo para una cadena de supermercados regional que permita mejorar el nivel de servicio y reducir los costos de transporte. Esta herramienta debe ser replicable, es decir que se pueda aplicar a otros casos similares.

4.2 Objetivos específicos

- Proponer una metodología para ordenar las llegadas de los camiones a los PDV de manera de reducir el número promedio de camiones en cola y así reducir el atochamiento que se produce en sus alrededores producto de los camiones estacionados en espera a ser atendidos.
- Construir un modelo, e implementarlo, para resolver el problema diario de ruteo que enfrenta Empresas Bravo que sea capaz de entregar resultados que constituyan una mejora con respecto a lo que actualmente se está haciendo de forma manual, en cuanto a costos se refiere.

5 Metodología a utilizar

Como primer aspecto, y pilar fundamental de esta tesis, se define el problema que se está enfrentando y que se desea resolver. El cual está principalmente definido por la ausencia de una herramienta computacional para asistir el diseño del ruteo de la flota de camiones del CD.

En segundo lugar se recopilan los datos necesarios para identificar claramente la cadena de distribución y sus actores, así como los volúmenes que fluyen a través de ella y la frecuencia con que lo hacen. Con estos datos es posible definir la línea base o situación inicial, y por medio de la comparación con los resultados del modelo se puede determinar si efectivamente se obtienen los resultados deseados o no.

En tercer lugar se procede a un estudio de los trabajos y literatura existentes, relacionados con el tema, con la finalidad de revisar que es lo que se ha hecho con respecto al tema y analizar como es posible utilizar los desarrollos realizados en forma previa para potenciar este estudio.

A continuación, en cuarto lugar, se propone una metodología para determinar los horarios en que deben llegar los camiones de la empresa a los puntos de venta, de manera de reducir los tiempos promedio de espera de los camiones externos fuera de cada punto de venta. La metodología que se propone busca reducir el largo promedio de cola fuera de los puntos de venta.

En quinto lugar se modela el problema de transporte que enfrenta la empresa, por medio de la construcción de un modelo matemático y su posterior resolución. Para esto se modela el ruteo de vehículos con ventanas de tiempo que enfrenta la empresa en el día a día.

En sexto lugar, se implementa el modelo escogido para ver si logra los resultados esperados, es decir, mejorar el nivel de servicio y reducir los costos de transporte. Este punto es clave para poder validar el modelo propuesto.

Finalmente se presentan los resultados más relevantes con las conclusiones y recomendaciones que de estos se desprenden.

6 Trabajos y literatura relacionada

El ruteo de vehículos, o *Vehicle Routing Problem* (VRP), es un problema central de la logística, que deben enfrentar las empresas que realizan la distribución. El ruteo de vehículos requiere decidir como atender la demanda de los clientes con los medios de transporte existentes en una empresa, o los que puede subcontratar. El problema del ruteo de vehículos siempre busca satisfacer la demanda de los clientes a mínimo costo, sujeto a una amplia gama de restricciones.

La literatura revisada estudia principalmente tres casos del problema de ruteo de vehículos: *The Capacited Vehicle Routing Problem* (CVRP), o ruteo de vehículos con capacidad, *The Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW), o ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, y *The Pick up and Delivery Problem* (PDP), o problema de recolección y entrega.

En el ruteo de vehículos con capacidad (CVRP) [2], se cuenta con un set de camiones homogéneos y un centro de distribución único, el cual debe abastecer a sus clientes. En este tipo de problema no se especifica ningún tipo de intervalo de tiempo en el cual deban ser atendidos los clientes. Solamente se busca realizar el ruteo de mínimo costo.

El ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) [9], es otra versión del problema de ruteo de vehículos, pero impone restricciones de ventanas de tiempos que deben cumplir los vehículos para realizar sus entregas. En el caso del VRPTW existen dos versiones: con restricciones de ventanas de tiempo blandas, las cual pueden ser violadas a un cierto costo, y con restricciones de ventanas de tiempo duras, las que no pueden ser violadas [9].

Existen modelos del VRPTW sin restricciones de capacidad que se utilizan para la atención de clientes [10]. Los modelos VRPTW que contemplan

restricciones de capacidad son utilizados como una extensión del CVRP para el abastecimiento de puntos de venta.

Por último en el problema de recolección y entrega (PDP) [6] los productos son recogidos en alguna locación y después entregados a un cliente en otra ubicación.

Con respecto al ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, VRPTW, existen principalmente dos enfoques de solución: métodos exactos y metaheurísticas. Es común que los enfoques de metaheurísticas sean abordados en dos partes: primero una heurística de construcción para obtener alguna ruta inicial, y después una heurística de mejoramiento para obtener una solución lo mas cercana posible al óptimo [11].

En el enfoque de solución por métodos exactos destacan principalmente dos formulaciones: la generación de columnas para el problema de particiones de conjuntos (SPP) [1], y la formulación de modelos de programación lineal [9].

Entre las metaheurísticas destacan: *Simulated Annealing* (SA), Búsqueda Evolucionaria (ES) [4], Algoritmos Genéticos (GA), y Búsqueda Tabú (TS) [3], [7].

Independiente de la formulación utilizada los resultados de la literatura coinciden en un punto: para problemas de pequeña envergadura, menos de 25 puntos de venta y un centro de distribución, los modelos exactos son capaces de encontrar una buena solución en un tiempo computacional reducido, es decir menos de treinta minutos [8].

La literatura revisada insiste en buscar un mecanismo para obtener una buena solución en un tiempo computacional reducido puesto que el tiempo disponible para resolver el modelo es la principal limitante que tiene el

administrador del sistema de distribución. Esto se debe a que usualmente tiene que analizar múltiples escenarios antes de tomar una decisión.

En el caso de Empresas Bravo, y dado el que el número de puntos de venta que deben satisfacer los de camiones no supera los 10 en forma diaria, puede resultar interesante explorar, en primera instancia, la implementación de un modelo exacto. En caso de no conseguir resultados satisfactorios se puede examinar la posibilidad de implementar una metaheurística para resolver el problema que enfrenta Empresas Bravo

Desde el punto de vista de la calidad de la solución obtenida en otros trabajos realizados anteriormente [5] se ha logrado bordear el 4% en mejoras en los costos de transporte respecto a lo que hacía la empresa. Aunque para los costos de transporte que maneja la empresa esta mejora puede no resultar significativa.

De la bibliografía examinada el modelo que mejor parece adecuarse al problema de ruteo de las cadenas de supermercados es el VRPTW, puesto que considera la capacidad de los camiones y las ventanas de tiempo que estos deben cumplir para atender a sus clientes.

El VRPTW puede ser formalmente modelado como se muestra a continuación [9]:

1.
$$\text{Min} \sum_k \sum_{i,j} c_{ij} \cdot x_{ijk}$$

Sujeto a:

2.
$$\sum_k \sum_j x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N$$

3.
$$\sum_j x_{0,jk} = 1 \quad \forall k \in K$$

4.
$$\sum_i x_{ijk} - \sum_i x_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, \forall j \in N$$
5.
$$\sum_k x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K$$
6.
$$w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk} \leq (1 - x_{ijk}) \cdot M \quad \forall k \in K, (i, j) \in A, M \gg 0$$
7.
$$a_i \cdot \sum_j x_{i,j,k} \leq w_{ik} \leq b_i \cdot \sum_j x_{i,j,k} \quad \forall k \in K, i \in N$$
8.
$$E \leq w_{ik} \leq L \quad \forall k \in K, i \in \{0, n+1\}$$
9.
$$\sum_i d_i \cdot \sum_j x_{ijk} \leq C \quad \forall k \in K$$
10.
$$x_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, i \in A$$
11.
$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, i \in A$$

Donde N es el conjunto de todos los clientes, y A es N con la bodega para la distribución incluida, y a_i y b_i son respectivamente, las cotas de tiempo inferior y superior para la llegada de los camiones a los clientes.

7 Desarrollo de una metodología de atención para los PDV

Actualmente los puntos de ventas reciben un promedio de entre 30 y 40 camiones al día entre los cuales se cuentan proveedores y camiones propios, de Empresas Bravo. Como es de esperar, se producen atochamientos a la entrada de los puntos de venta, los cuales por el momento sólo han significado un par de multas a la empresa, pero que con el tiempo, podrían transformarse en un problema de consideración por factores principalmente políticos.

A continuación se propone una metodología intuitiva para asignar un horario de llegada a los camiones que visitan los puntos de venta, pero no se utilizará un modelo, tan sólo un conjunto de reglas.

7.1 Situación de los puntos de venta

La llegada de camiones a los puntos de venta se puede modelar como un problema de teoría de colas en el cual tenemos una tasa de llegada de camiones por hora, que eventualmente varia durante el día, y servidores que los atienden con otra tasa de servicio. Por el momento no se han realizado estudios para estimar las distribuciones que mejor modelan estos procesos.

Como ha detallado la empresa en las diferentes reuniones de trabajo, se producen atochamientos en la entrada de los puntos de venta. Para resolver este problema existen dos soluciones: aumentar capacidad de atención, o reducir la tasa de llegada de los camiones.

La capacidad de atención de camiones, o tasa de atención de los locales, depende de los medios con los que cuenta el punto de venta para realizar la descarga. Algunos puntos de venta no cuentan con medios propios de descarga por lo que las descargas deben ser manuales si el camión que los abastece tampoco cuenta con un medio propio de descarga. En el anexo 6 se puede

observar que los tiempos de descarga manual oscilan entre los 100 minutos hasta los 500 minutos para un camión completo.

Aumentar esta tasa de atención está estrictamente relacionado con tener más y mejores medios de descarga, y un mejor manejo de la bodega de los puntos de venta. La empresa se encuentra en una etapa de expansión y los recursos están principalmente orientados a abrir nuevos puntos de venta. Por lo tanto los puntos de venta deben arreglárselas con los medios que tienen.

La alternativa que queda por explorar es disminuir la tasa de llegada de los camiones. La tasa de llegada de camiones por día a los puntos de venta no puede ser disminuida pero si distribuida durante el día, por lo tanto la idea es aplanar los peaks de de llegada de los camiones distribuyendo la llegada de los camiones a lo largo del día laboral. El objetivo es disminuir el número máximo de camiones en cola de espera para ser atendidos a la salida de los puntos de venta.

Intuitivamente surge la idea de programar, dentro de cada día, la hora de llegada de todos los camiones que deben ser atendidos por cada punto de venta. De esta manera se obtiene una tasa de llegada de los camiones lo más pareja durante el día y así las colas de espera se minimizan. No se puede asegurar que la cola, afuera de los puntos de venta, desaparezca pero si que su tamaño se reduzca al mínimo.

La metodología para abordar el problema consiste en dividir el día laboral de los puntos de venta en horarios de atención análogamente a lo que hace un doctor con su consulta médica. Es decir que se van asignando horarios de atención a los proveedores como si fueran consultas médicas. Por lo tanto aquellos que lleguen a la hora son atendidos tan pronto como sea posible, y aquellos que llegan tarde deben esperar hasta que se genere una ventana de tiempo para ser atendidos.

7.2 Primeros pasos de la metodología propuesta para los PDV

En primera instancia se debe clasificar a los proveedores en dos grupos: aquellos a los cuales se puede influenciar y aquellos a los que no. Es decir pequeños y grandes proveedores. Usualmente los grandes proveedores imponen su horario de llegada y Empresas Bravo no puede negociar con ellos el momento de la llegada a los puntos de venta. Afortunadamente, dada la frecuencia con que atienden los puntos de venta, y los volúmenes de carga que manejan, estos proveedores son predecibles, y confiables en cuanto a su puntualidad.

Por lo tanto inicialmente se estima un horario de llegada de estos proveedores y se deja ese espacio reservado. La estimación debe hacerse en base al juicio experto de los administradores de cada punto de venta. El resto de los espacios de tiempo disponibles en el día se debe distribuir entre los proveedores más chicos y los camiones de Empresas Bravo. De esta manera todos los grandes proveedores quedan calendarizados en la jornada laboral de los puntos de venta.

En segundo lugar, y sólo para los pequeños proveedores, se debe separar el grupo nuevamente en dos: “los patos buenos” y “los patos malos”. Esta división obedece a la siguiente lógica: se trata de armar un grupo de proveedores con los que se tenga buena relación y que hayan demostrado capacidad de cumplir las fechas y horarios de entrega. Este grupo se define como “los patos buenos”. Una vez identificado este grupo de buenos proveedores hay que trabajar en conjunto con ellos para asignarles horarios de llegada en los espacios disponibles.

En tercer lugar, y con los espacios de tiempo disponibles que queden después de haberle asignado un horario a los grandes proveedores y a los “patos buenos”, se escoge el momento del día en que se desea que lleguen los camiones de Empresas Bravo a los puntos de venta.

Los “patos malos” son atendidos a medida que van llegando y que se genere una ventana de tiempo en la cual no haya que atender a ningún otro proveedor. Esto va generar molestias, lo que constituye una manera de motivarlos para que cambien sus hábitos de llegada a los puntos de venta.

El mayor incentivo para que esta metodología funcione es asegurar a los proveedores la atención oportuna si llegan a tiempo a los puntos de venta. La principal razón es que el costo del camión que está detenido afuera del punto de venta debe ser absorbido por el proveedor, y eventualmente una multa por estacionar en un lugar no adecuado.

7.3 Pasos finales de la metodología propuesta para los PDV

Después de implementar los primeros pasos de la metodología, y de observar que los largos promedio de colas de espera en los puntos de venta disminuyen, se deben implementar los pasos finales.

Se trata de extender los logros alcanzados por medio de la inclusión efectiva de la mayoría de los proveedores posibles de los puntos de venta, si y sólo si las colas de espera disminuyen.

A esta altura, de la implementación de la metodología, se espera que los proveedores que no tienen un horario predefinido para su llegada al punto de venta, es decir “los patos malos”, se interesen en tenerlo para no seguir haciendo las colas. Se les puede ofrecer los horarios libres que queden disponibles.

Eventualmente también se puede tratar de conversar con los proveedores grandes para definir claramente los días y las horas de llegada a los puntos de venta, puesto que si llegan a tiempo son atendidos de manera más expedita.

Como todos los procesos tienen cierto nivel de eficiencia, se debe estar monitoreando constantemente que tan bien se están comportando los proveedores con respecto a su puntualidad en la llegada en comparación a la hora de llegada que se les haya sido asignado. Este indicador de la capacidad de cumplimiento de los proveedores puede utilizarse como una prioridad para asignar los horarios de llegada, de manera que los mejores horarios se entreguen a los proveedores que mejor cumplen y los horarios malos a los proveedores que no son capaces de cumplir adecuadamente con su compromiso de llegada.

7.4 Contingencias a considerar

Existen ciertas contingencias a considerar en cuanto al orden real de atención de los camiones que estén esperando en cola a la salida del punto de venta. A pesar de que la metodología explica claramente cual debe ser el orden teórico de atención, no siempre se puede cumplir a cabalidad puesto que existen problemas por quiebres de productos dentro del punto de venta que obligan a atender a ciertos proveedores antes que otros a pesar que los horarios de llegada se hayan cumplido satisfactoriamente.

Como el problema no resulta simple, puesto que automáticamente provoca descontento entre los proveedores que cumplen correctamente, la decisión debe quedar en manos del administrador del punto de venta.

La primera posibilidad es que simplemente el administrador del punto de venta decida hacer esperar al proveedor que trae los productos que se

encuentran con quiebre de inventario, y respetar las reglas establecidas. Es decir hacer esperar al camión hasta que se genere una ventana de tiempo para atenderlo. Lo más probable es que esta decisión no sea compartida por el área comercial, puesto que representa pérdidas en ventas y por lo tanto en las ganancias del local. Además los administradores reciben bonificaciones por las ventas del local así que es poco probable que decidan tomar esta alternativa.

La segunda posibilidad es hacer pasar al camión que trae los productos con quiebre de inventario apenas se desocupe el área de descarga. Esto traerá descontento entre los proveedores que estén esperando puesto que verán como no se cumple el compromiso de atención de la empresa. Para que esto no deteriore la confianza en el sistema es necesario ofrecer una bonificación al proveedor que perdió su turno de atención. La bonificación puede ser un mejor horario de atención para la próxima entrega que tenga que hacer al punto de venta, o que no se le tome en cuenta una entrega fuera de plazo en el último tiempo para su ranking de llegada. En cualquiera de los dos casos se le paga con la misma moneda: tiempo por tiempo.

Otra forma de evitar este descontento por parte de los proveedores es no dar a conocer a cada proveedor más que su propio horario de llegada, y no publicar el horario de llegada de todos los proveedores. Así se puede minimizar la posibilidad de que los proveedores noten el incumplimiento del horario fijado por el punto de venta, puesto que durante el día se pueden ir compensando los atrasos con un buen trabajo de la zona de descarga del punto de venta.

La idea básica de todo este sistema consiste en motivar a los proveedores por medio de la asignación del mejor horario de llegada que se define según las necesidades del proveedor. Entonces por medio del ranking de cumplimiento de llegadas se van asignando los horarios a los proveedores que mejor cumplen con la hora solicitada para realizar la entrega. De esta forma se premia al proveedor puntual y se castiga al que no lo es y se reduce la

posibilidad de un descontento justificado, ya que un proveedor menor que no sea capaz de entregar un buen servicio y que no esté contento con su horario de atención no resulta relevante.

Por último hay que notar que si la correcta implementación de esta metodología no es suficiente para reducir efectivamente los largos de cola a la salida de los puntos de venta, se debe explorar la posibilidad de aumentar la capacidad de atención de éstos. Esto se puede hacer en dos frentes: primero aumentando y mejorando los medios de descarga del punto de venta, segundo suprimiendo el cierre de la atención a la hora de almuerzo, o tercero en los dos frentes en simultáneo. Probablemente lo más simple y económico es hacer turnos de atención, en la recepción de los puntos de venta, a la hora de almuerzo para no tener que cerrar.

Una vez que el horario queda diseñado hay que definir el ruteo de los camiones de Empresas Bravo para abastecer los puntos de venta cumpliendo con los horarios asignados, y las ventanas de tiempo establecidas. Para esto se crea un modelo matemático que permita obtener este ruteo a mínimo costo, respetando las ventanas de tiempo impuestas.

A continuación se presenta el flujo de atención que deberían seguir los camiones en los puntos de venta:

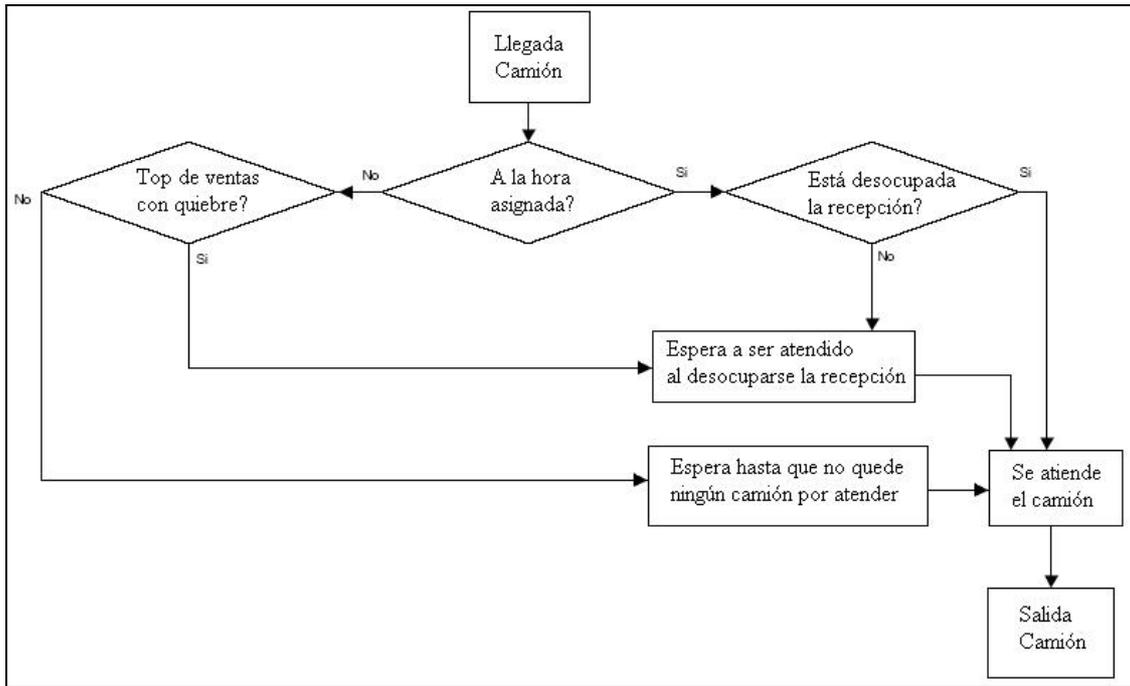


Figura 1: Diagrama de flujo de la atención en los PDV.

8 Desarrollo del modelo de optimización para el transporte

El capítulo de revisión bibliográfica, plantea principalmente dos enfoques para la resolución de este problema de ruteo que presenta Empresas Bravo: una metaheurística o un modelo exacto. Tal como se menciona en el mismo capítulo de la revisión bibliográfica, primero se aborda el problema de ruteo de la empresa con un modelo exacto debido a la magnitud que tiene. En caso de no obtenerse los resultados esperados el paso a seguir es implementar una metaheurística.

Empresas Bravo distribuye palets a sus puntos de venta por medio de camiones con capacidades conocidas y desea cumplir con las ventanas de tiempo que se imponen después de implementar la metodología de atención de los puntos de venta. Bajo esta perspectiva, el modelo exacto que mejor se adecúa a estos requerimientos es el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW), el cual ya ha sido abordado por la literatura en ocasiones anteriores tal como se detalló en el capítulo 6.

El modelo que se propone a continuación es la adecuación de un modelo, inicial ([10], [9]), de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, genérico, pero que no consideraba la capacidad de los camiones, ni la posibilidad de que los vehículos dieran más de una vuelta en la misma jornada laboral. El modelo utilizado para resolver el problema de ruteo con ventanas de tiempo (VRPTW) se detalla a continuación.

8.1 Explicación del modelo

El modelo de programación lineal entera propuesto distribuye la capacidad de carga de los camiones entre los distintos puntos de venta que visita durante cada vuelta que realiza en el ruteo.

El objetivo del modelo se puede dividir en dos partes: mejorar el nivel de servicio y reducir los costos de transporte. Esto se puede ver en la función objetivo que minimiza la violación de las ventanas de tiempo, superior e inferior, y reduce los costos de transporte de los camiones. Estos dos objetivos generalmente se contraponen ya que una mejora en el nivel de servicio va en desmedro del costo de transporte.

Al examinar la función objetivo más en detalle se observa que no necesariamente entrega el ruteo de costo mínimo, esto se debe a que minimizar la violación de ventanas de tiempo en conjunto con la distancia recorrida por los camiones puede llevar a un resultado diferente que la sola minimización del costo de transporte. Por lo tanto va a depender del costo que se le asigne a la violación de las ventanas de tiempo y al recorrido de los camiones si se minimiza el costo de transporte o si se privilegia asegurar un buen nivel de servicio. En este caso para lograr la minimización del costo de transporte basta con asignar un peso (o valor) muy chico a la violación de las ventanas de tiempo.

A pesar de esto el modelo sigue siendo interesante puesto que permite mantener y/o mejorar el nivel de servicio que entrega la empresa, y reducir el costo asociado de transporte de los camiones en forma simultánea.

Para obtener el ruteo de los vehículos de mínimo costo, con el modelo propuesto, basta con darle un valor muy chico al costo de la violación de la ventana de tiempo, de esta manera el modelo se centra principalmente en reducir el único costo relevante que queda, que son los costos por transporte

entre los distintos puntos de venta. No conviene dar un valor igual a cero a las violaciones de las ventanas de tiempo ya que estas permiten evitar la generación de subtours.

El modelo también sirve para resolver un problema similar. Se trata del ruteo de vehículos con ventanas de tiempo rígidas. En este caso también se puede obtener el ruteo de costo mínimo. Basta con fijar de forma rígida las ventanas de tiempo sin permitir que sean violadas, es decir que un camión no pueda llegar antes o después de 15 minutos de su hora fijada al punto de venta, por ejemplo. De esta forma lo único que puede hacer el modelo es minimizar el costo de transporte entre los puntos de venta. Lamentablemente en este caso se obtienen peores resultados puesto que se le quita flexibilidad al modelo al imponer las restricciones de ventanas de tiempo fijas. Aunque va depender del problema que se esté abordando.

Por último, no existe una variable que muestre cuantos palets se cargaron en el camión en el centro de distribución, pero si se tienen las variables que muestran cuanto descarga cada camión en cada cliente por cada vuelta que da. De esta manera el camión pone a disposición del modelo lineal su capacidad de transporte para poder repartir los palets a los distintos puntos de venta. A continuación se explica en detalle del modelo de programación lineal entera mixto propuesto.

8.2 Parámetros

Los parámetros del modelo son aquellos datos necesarios para que el modelo pueda correr³ y arrojar una solución al problema de ruteo. A continuación se detallan los distintos parámetros requeridos por el modelo:

³ Una corrida es resolver una instancia del modelo

- b_i , es el minuto del día en que debe llegar el camión al punto de venta. Actualmente Empresas Bravo no cuenta con este dato, pero se puede desprender del resultado obtenido por medio de la implementación de la metodología propuesta en el capítulo 7. Como actualmente esto no lo hace la empresa, se fijan los b_i de forma arbitraria para correr el modelo.
- T_w , o *time windows*⁴, es la duración de la ventana de tiempo, antes y después de la hora en que debe llegar el camión. Es decir que el camión cuenta con T_w minutos para llegar antes de la hora programada o T_w minutos para llegar después. En total el camión tiene un rango de $2 * T_w$ minutos para llegar al punto de venta sin que sea penalizado por el modelo. b_i es la hora de llegada del camión.
- s_{ki} , es el tiempo que se demora el camión k en descargar sus palets en la sala i . Estos tiempos se encuentran en el anexo 6. Por el momento sólo se ocupa el tiempo descarga del camión completo para entregar una holgura adicional al modelo. Esta holgura se agrega por que no siempre los puntos de venta están disponibles para atender a los camiones. Eventualmente se puede calcular un tiempo acorde al número de palets a descargar en el punto de venta y asumiendo un costo fijo de tiempo hasta que se empieza la descarga. Esto puede ser incluido en estudios posteriores.
- $CD0$, es el tiempo que le toma a un camión volver a ser cargado en el centro de distribución, desde el momento en que llega. Actualmente sólo se toma un tiempo estándar que no tiene relación con el número de palets que carga el camión. El tiempo utilizado para correr el modelo es de 30 minutos, lo que iguala la carga completa del camión de mayor capacidad. Aquí se registra la segunda holgura adicional del modelo. Esta holgura se

⁴ Ventana de tiempo

agrega por que no siempre los palets están listos para ser despachados a tiempo.

- t_{ijk} , es el tiempo, en minutos, que le toma al camión k para viajar desde el punto i hasta el punto j , donde los puntos corresponden a un punto de venta o al centro de distribución. Estos tiempos se encuentran en los anexos 2, 3, y 4.
- C_k , es la capacidad de carga, en palets, del camión k . Estas se presentan en la tabla 2.
- Dda_i , es la demanda, en palets, del punto sala i .
- F , es la duración de la jornada laboral en minutos. Por indicación del administrador de los camiones, esta dura desde las 5 de la mañana hasta las 12 de la noche si es necesario, es decir 1140 minutos.
- B , es el costo de violar las ventanas de tiempo, en pesos por minuto. En a función objetivo se explica como se fija.
- C_{ij} , es el costo de viaje de cada camión por minuto, desde el punto i hasta el punto j . Este costo se calcula dividiendo el costo de cada viaje de cada camión, por el tiempo que le toma realizar el viaje.
- $Disp(k)$, vale 1 si el camión k está disponible para realizar el ruteo. 0 en otro caso.
- $PDV(i)$, vale 1 si el punto de venta i tiene que ser visitado. 0 en otro caso.

8.3 Variables

El modelo de programación lineal entera mixta tiene cinco grupos de variables:

- X_{ijkn} , que toma el valor 1 si el camión k va desde el punto de venta i hasta el punto de venta j en la vuelta⁵ n , y 0 en otro caso. Para este modelo que se presenta a continuación, el centro de distribución se cuenta como un punto de venta más.
- P_{ikn} , es el número de palets descargados por el camión k en el punto de venta i en la vuelta n .
- W_{ikn} , es el instante del día (medido en minutos) en que empieza la descarga del camión k en la sala i en la vuelta n .
- δi_{ikn} , es la violación inferior de la ventana de tiempo (en minutos), corresponde al tiempo de antelación con que llega el camión k antes de la holgura permitida de T_w minutos al cliente i , en la vuelta n .
- δs_{ikn} , es la violación superior de la ventana de tiempo (en minutos), corresponde al tiempo de retraso con que llega el camión k después de la holgura permitida de T_w minutos al cliente i , en la vuelta n .

Para el modelo de programación lineal entera mixta a resolver Empresas Bravo cuenta con 6 camiones, 18 puntos de venta, 1 centro de distribución, y se permite que los camiones den un máximo de 4 vueltas por día. Las 4 vueltas por día son impuestas por el administrador de los camiones quien dice que no es

⁵ Una vuelta es el trayecto de un camión que parte y termina en el CD después de visitar uno o más puntos de venta.

posible que un camión haga más vueltas en una jornada laboral. Con todas estas referencias se tiene un total de 11.376 variables.

No se consideran tiempos de espera para los camiones cuando arriban a los puntos de venta puesto que estos son despreciables. Esto se debe a que los camiones de Empresas Bravo tienen preferencia inmediata para ser atendidos en los puntos de venta. Del lado del centro de distribución los palets están listos para ser despachados al momento que llegan los camiones a buscarlos.

Para el ruteo de vehículos diario muchas variables son cero debido a que nunca se dispone de todos los camiones para realizar despacho a puntos de venta, y no todos los días hay que entregar a todos los puntos de venta.

8.4 Función Objetivo

$$\text{Min} \quad \sum_{i,k,n} (\delta s_{ikn} + \delta i_{ikn}) \cdot B + \sum_{i,j,k,n} C_{ij} \cdot t_{ijk} \cdot X_{ijkn}$$

Tal como se había explicado anteriormente la función objetivo cumple en forma combinada el objetivo de reducir la violación de las ventanas de tiempo para entregar una mejor calidad de servicio, y reducir el costo del recorrido de los camiones. El coeficiente B se determina arbitrariamente, en este caso se le asigna el valor 1, de manera que el costo de las ventanas de tiempo no sea significativo en comparación al costo del ruteo de los vehículos.

8.5 Restricciones

A continuación se presenta cada una de las restricciones del modelo y se explica su utilidad:

1. Satisfacción de la demanda en el punto de venta.

$$\sum_n \sum_k P_{ikn} = D_{dai} \quad \forall i \in I \setminus \{0\}$$

La restricción 1 obliga a los camiones a satisfacer la demanda en palets de cada punto de venta. Es decir, el total de palets que recibe cada punto de venta por todos los camiones en todas las vueltas debe ser igual a la demanda diaria en palets del punto de venta. Este valor es determinístico para este modelo.

2. Si descargo tengo que pasar por el punto de venta.

$$P_{ikn} \leq \sum_j X_{jkn} \cdot M \quad \forall i \in I \setminus \{0\}, \forall k \in K, \forall n \in N \quad (M \gg 0)$$

La restricción 2 obliga al modelo a enviar un camión al punto de venta en caso de que el punto de venta reciba palets de ese camión en esa vuelta.

3. Capacidad de los camiones.

$$\sum_i P_{kin} \leq C_k \quad \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 3 impide que la capacidad de los camiones sea superada. Es decir, por cada vuelta de cada camión, no puede repartir más palets de los que caben en su interior.

4. Cada camión sale a lo mas una vez por vuelta desde la bodega 0.

$$\sum_j X_{0jkn} \leq 1 \quad \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 4 no permite que un camión salga de la bodega más de una vez en la misma vuelta.

Las tres restricciones que se detallan a continuación se utilizan para provocar un sólo efecto. Por lo tanto primero se explica el efecto, para después explicar las restricciones.

Se debe llevar la cuenta del minuto en que cada camión entra y sale del centro de distribución, para cargar o simplemente para quedar detenido. Pero el modelo sólo cuenta con una variable W_{ikm} , para contabilizar estos dos eventos. Por lo tanto el modelo requiere de una variable adicional para registrar los dos eventos de tiempo en el centro de distribución.

Para solucionar esto basta con duplicar el centro de distribución en el modelo. De esta forma se tiene un centro de distribución de salida y otro para la llegada de los camiones. Para este caso basta con que $i = 0$ sea el centro de distribución de salida e $i = I + 1$ el de llegada, donde I es el número total de puntos de venta, es decir 18.

Producto de la separación de la bodega en dos partes (entrada y salida), hay que obligar a los camiones a seguir el flujo deseado, es decir: que partan en el centro de distribución de salida, que pasen por uno o más puntos de venta, y que después vuelvan al centro de distribución de llegada, si es que salen del centro de distribución.

Por último si después de dar una vuelta y llegar al centro de distribución de llegada, deben dar otra vuelta, entonces deben pasar del centro de distribución de llegada al de salida.

Para que el flujo anteriormente descrito se cumpla correctamente, es necesario impedir que los camiones puedan circular en sentido contrario. Para esto se utilizan las 3 restricciones que siguen (5, 6, 7), las cuales cortan cada uno de los 3 flujos inversos.

5. Cada camión sólo sale de la bodega 0 (No puede salir desde la bodega I+1).

$$X_{I+1,ikn} = 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall n \in N$$

6. Cada camión sólo llega a la bodega I+1 (No puede llegar a la bodega 0).

$$X_{i0kn} = 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall n \in N$$

7. No puedo ir de la bodega 0 a la bodega I+1.

$$X_{0I+1kn} = 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall n \in N$$

8. Todo camión que entra a una sala tiene que salir.

$$\sum_i X_{ijkn} - \sum_i X_{jikn} = 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 8 obliga a los camiones que visitan a un punto de venta a tener que salir del punto de venta.

9. No puedo dar una vuelta sobre el mismo cliente.

$$X_{iikn} = 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 9 elimina la posibilidad de dar una vuelta sobre el mismo cliente, es decir se eliminan trayectos que no existen.

10. No puedo hacer subtours⁶ entre dos clientes.

$$X_{ijkn} + X_{jikn} \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 10 impone el quiebre explícito de los subtours de 2 puntos de venta para evitar que se produzcan. Los demás subtours son eliminados por las restricciones de ventanas de tiempo, y la minimización de la violación de estas ventanas.

⁶ Un subtour es una vuelta de un camión que parte en un punto de venta y termina en otro sin pasar nunca por el centro de distribución. Es una solución que no tiene sentido común pero que puede obtenerse como resultado de un ruteo de vehículos.

11. Secuencia de los tiempos de atención.

$$w_{ikn} + s_{ki} + t_{ij} - w_{jkn} \leq (1 - X_{ijkn}) \cdot M \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 11 impone que el tiempo de atención del local j debe ser mayor o igual al tiempo de arribo al local i mas el tiempo de descarga, mas el tiempo de viaje desde i a j, si y sólo si el camión va de i a j, en esa vuelta.

12. Secuencia de los tiempos al cargar en el CD.

$$CD0 + w_{I+1kn} \leq w_{0kn+1} + (1 - \sum_j X_{0jkn+1}) \cdot M \quad \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 12 impone que el tiempo de salida del camión k, en la vuelta n+1 debe mayor o igual que el tiempo de llegada del camión k en la vuelta n mas el tiempo de carga en el centro de distribución, si y sólo si el camión k realiza la vuelta n+1. CD0 es el tiempo de carga en el centro de distribución.

13. Orden de las vueltas de los camiones.

$$\sum_j X_{0jkn} \geq \sum_j X_{0jkn+1} \quad \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 13 permite que el modelo vaya escogiendo las vueltas para los camiones de forma ascendente, es decir siempre parte con la vuelta 1 y después 2 y así sucesivamente, y no en forma desordenada.

14. El inicio del servicio de cada sala debe ser anterior del final del día laboral.

$$w_{ikn} \leq F \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 14 impone una cota superior de tiempo con la que cuenta el modelo para poder realizar el reparto, conocida como la jornada laboral. El

problema es que en la práctica esta se alarga tanto como sea necesario para cumplir con los despachos pendientes.

15. Ventana de tiempo superior.

$$w_{ikn} - b_i - TW - M \cdot (1 - \sum_j X_{jikn}) \leq \delta s_{ikn} \quad \forall i \in I \setminus \{0\}, \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 15 impone un valor a la variable δs_{ikn} cada vez que se viola la ventana de tiempo superior. Este valor es la diferencia entre la hora de llegada y la hora prometida para el arribo más la ventana de tiempo. Todo esto sucede si y sólo si el camión visita al punto de venta

16. Ventana de tiempo inferior.

$$\delta i_{ikn} \geq b_i - TW - w_{ikn} - M \cdot (1 - \sum_j X_{jikn}) \quad \forall i \in I \setminus \{0\}, \forall k \in K, \forall n \in N$$

De la misma forma que para la restricción 15, aquí se impone un valor a la variable δi_{ikn} por cada adelanto que se registre.

En las dos restricciones que siguen a continuación se eliminan todas las variables asociadas a los camiones que no se encuentran disponibles para realizar el despacho y todos los puntos de venta que no deben ser abastecidos durante el día.

17. Eliminación de variables por camiones no disponibles.

$$X_{ijkn} \leq Disp(k); X_{jikn} \leq Disp(k) \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall n \in N$$

18. Eliminación de variables por no despacho a punto de venta.

$$X_{ijkn} \leq PDV(i); X_{jikn} \leq PDV(i) \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall n \in N$$

19. El camión de 18 palets y el de 24 palets no pueden entrar a ciertos lugares.

$$X_{i,j,6,n} = 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall n \in N, j = 14, 13, 1, 2, 7, 8, 9, 17, 18$$

$$X_{i,j,3,n} = 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall n \in N, j = 14, 13, 1, 2, 7, 8, 9, 17, 18$$

La restricción 19 es particular del problema que enfrenta Empresas Bravo en la cual se realiza el estudio. Las dimensiones de sus camiones de 18 y 24 palets les imposibilita el ingreso a varios puntos de venta.

20. Naturaleza de las variables

$$X_{ijkn} \in \{0,1\}, w_{ikn}, P_{ikn}, \delta s_{ikn}, \delta i_{ikn} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall n \in N$$

Por último se impone la naturaleza de las variables, donde X_{ijkn} es una variable binaria y las otras variables $w_{ikn}, P_{ikn}, \delta s_{ikn}, \delta i_{ikn} \geq 0$ son continuas aunque los resultados obtenidos siempre muestran variables enteras.

9 Implementación

Para implementar el nuevo sistema de ruteo propuesto primero hay que definir la línea base de la empresa, es decir ver como están operando, y los resultados obtenidos por el administrador. Después se implementa el modelo de programación lineal entera mixta para ver si es que consigue mejoras con respecto a la línea base. Para observar las mejoras basta comparar los resultados obtenidos por el modelo y por el administrador, para el mes de Octubre de 2005.

9.1 Definición de la línea base

El objetivo de definir una línea base para el proceso de ruteo de vehículos que realiza la empresa es poder determinar si la metodología de ruteo de los vehículos que se propone en este trabajo permite lograr mejoras o no. La comparación entre la nueva situación producto de la aplicación del modelo para el ruteo de vehículos y la situación actual, permite ver claramente dónde se producen las mejoras y a cuánto ascienden éstas. También permite ver cómo fluctúan los *trade offs* entre el nivel de servicio y los costos de transporte. Por otra parte también es interesante analizar el *trade off* que se produce entre la calidad de la solución encontrada y el tiempo de resolución del modelo matemático.

Se define la línea base, en este caso, como la situación actual de la empresa con respecto al ruteo de vehículos. Esto principalmente se puede ver en dos aspectos: costo del transporte, y nivel de servicio. Para medir estos aspectos se requiere de métricas adecuadas, en particular para el costo del ruteo se utiliza el costo del recorrido de los camiones. Para el nivel de servicio se utiliza la relación entre el número de días en que se llega a tiempo con el encargo y el número total de días. El nivel de servicio aún no se calcula con respecto a una hora del día en que se espera que llegue el camión, sólo interesa si el camión llega en el día que debe o no.

El administrador recibe los pedidos de los puntos de venta a más tardar a las 5 de la tarde después de lo cual debe empezar a armar los palets con su gente del centro de distribución. En el peor de los casos los palets deben salir despachados a las 5 de la mañana del día siguiente. Por lo tanto el administrador no cuenta con un tiempo mayor a una hora para decidir como despachar los camiones. A raíz de esto, en los casos en que el tiempo de resolución aumenta mucho, el administrador prefiere tener una solución cercana al óptimo pero en un tiempo menor.

Adicionalmente existe un segundo indicador del nivel de servicio que es el número de camiones promedio esperando fuera del punto de venta. A partir de la solución del modelo matemático es posible observar mejoras en el costo del ruteo y en el nivel de servicio de los puntos de venta, pero con respecto al número promedio de camiones en cola fuera del punto de venta el modelo no produce cambios de forma directa. Sólo la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo 7 puede reportar mejoras si se aplica correctamente.

Por lo tanto se cuenta con tres indicadores para medir los beneficios que se espera alcanzar con este trabajo: el costo del ruteo de los vehículos, el nivel de servicio de los puntos de ventas, y el tiempo que le toma al modelo propuesto encontrar una solución.

El costo de transporte se mide en pesos, y el retraso en la entrega a los puntos de venta se mide en días.

Para determinar la línea base es necesario recopilar los datos acerca de los costos en los que está incurriendo la empresa para llevar a cabo el reparto de productos a los diferentes puntos de venta, y de la puntualidad con que cumple su cometido.

Para implementar y validar el modelo se utilizan los datos del mes de Octubre de 2005. En estos datos sólo figuran los costos de transporte. Con respecto al número de camiones en promedio en espera fuera de los puntos de venta, Empresas Bravo no cuenta con datos disponibles. Además según el administrador de los camiones en el mes de octubre se registró un 100% de efectividad en el nivel de servicio, es decir todos los camiones llegaron a los puntos de venta en el día que les correspondía. Por lo tanto el análisis se centra principalmente en la reducción de los costos de transporte.

El anexo 5 presenta el ruteo realizado por Empresas Bravo para el mes de Octubre 2005. A continuación podemos ver la tabla resumen de los costos de transporte del mes de octubre:

FECHA	DÍA	BRYC	CAMIONES	PDV
03-10-2005	Lunes	191.330	3	5
04-10-2005	Martes	205.660	3	4
05-10-2005	Miércoles	110.780	2	4
06-10-2005	Jueves	34.087	3	4
07-10-2005	Viernes	60.550	1	4
08-10-2005	Sábado	79.240	2	3
11-10-2005	Martes	313.165	3	6
12-10-2005	Miércoles	271.760	4	4
13-10-2005	Jueves	29.820	1	3
14-10-2005	Viernes	115.885	1	5
15-10-2005	Sábado	5.530	1	1
17-10-2005	Lunes	166.880	3	5
18-10-2005	Martes	295.210	3	5
19-10-2005	Miércoles	83.580	2	3
20-10-2005	Jueves	172.710	2	4
21-10-2005	Viernes	135.030	2	6
22-10-2005	Sábado	79.310	2	3
24-10-2005	Lunes	49.070	3	4
25-10-2005	Martes	346.030	4	6
26-10-2005	Miércoles	237.460	3	5
27-10-2005	Jueves	35.840	2	5
28-10-2005	Viernes	115.080	1	4
29-10-2005	Sábado	115.030	3	3

TOTAL	3.249.037
--------------	------------------

Tabla 3: Costo ruteo de vehículos mes de Octubre 2005.

Podemos observar que el ruteo actual del mes de octubre varía entre 5.530 y 346.030 pesos diarios, promediando 141.262 pesos, y con un costo total del mes de 3.249.037 pesos. Con respecto a los camiones disponibles podemos observar que nunca se cuenta con más de 4 camiones para realizar el reparto, y que el número de locales abastecidos diariamente no supera los 6.

Con los ruteos realizados por la empresa en el mes de octubre y los costos asociados a estos podemos hacer correr el modelo de programación lineal entera mixta para observar si es posible encontrar mejoras. Cabe destacar que la empresa realiza ruteo de lunes a sábado, y que no realiza despachos ni domingos ni festivos.

9.2 Resultados obtenidos con el modelo de optimización

Para implementar el modelo de programación lineal entera mixta propuesto en el capítulo 8, se utilizan los datos entregados por Empresas Bravo, entre ellos destacan: los tiempos de viajes para cada tipo de camión, los tiempos de servicio o descarga, las distancias entre cada punto de venta, y los costos de transporte de cada camión, los cuales se encuentran en los anexos 1, 2, 3, 4, y 6. Dado que no se contaba con una hora de llegada de los camiones al punto de venta se corrió el modelo asignando un valor muy pequeño a la violación de ventanas de tiempo. De esta forma el modelo entrega el ruteo de los vehículos a costo mínimo y también la hora del día en la cual van a ser abastecidos los puntos de venta.

Después de implementar el modelo propuesto (VRPTW), con los datos de la empresa se obtuvieron los siguientes resultados:

FECHA	DÍA	BRYC	VRPTW	% MEJORA	TIEMPO ⁷
03-10-2005	Lunes	191.330	191.330	0,00%	OUT
04-10-2005	Martes	205.660	205.660	0,00%	41,22
05-10-2005	Miércoles	110.780	110.780	0,00%	29,5
06-10-2005	Jueves	34.087	30.660	10,05%	3.910,53
07-10-2005	Viernes	60.550	60.550	0,00%	28,64
08-10-2005	Sábado	79.240	79.240	0,00%	26,97
11-10-2005	Martes	313.165	294.701	5,90%	58,72
12-10-2005	Miércoles	271.760	237.580	12,58%	658,56
13-10-2005	Jueves	29.820	29.820	0,00%	32,19
14-10-2005	Viernes	115.885	115.885	0,00%	258,41
15-10-2005	Sábado	5.530	5.530	0,00%	35,22
17-10-2005	Lunes	166.880	166.810	0,04%	13.874,19
18-10-2005	Martes	295.210	295.210	0,00%	78,59
19-10-2005	Miércoles	83.580	83.580	0,00%	28,5
20-10-2005	Jueves	172.710	172.710	0,00%	29,17
21-10-2005	Viernes	135.030	111.755	17,24%	57,91
22-10-2005	Sábado	79.310	79.310	0,00%	31,64
24-10-2005	Lunes	49.070	49.000	0,14%	30.637,98
25-10-2005	Martes	346.030	346.030	0,00%	8.373,11
26-10-2005	Miércoles	237.460	210.525	11,34%	49,66
27-10-2005	Jueves	35.840	35.840	0,00%	OUT
28-10-2005	Viernes	115.080	115.080	0,00%	82,72
29-10-2005	Sábado	115.030	109.830	4,52%	27,92

	BRYC	VRPTW	MEJORA
TOTAL	3.249.037	3.137.416	3,44%

Tabla 4: Resultados de la implementación del modelo lineal (VRPTW).

Como se puede ver en la tabla el modelo de programación lineal logra reducir el costo del ruteo del mes de octubre en un 3,44%. Esto no constituye una cifra realmente significativa considerando que esto representa 111.621 pesos.

⁷ Tiempo medido en segundos.

También se puede observar que no en todos los casos se muestran mejoras. El gráfico a continuación presenta los casos en que se obtienen mejoras:

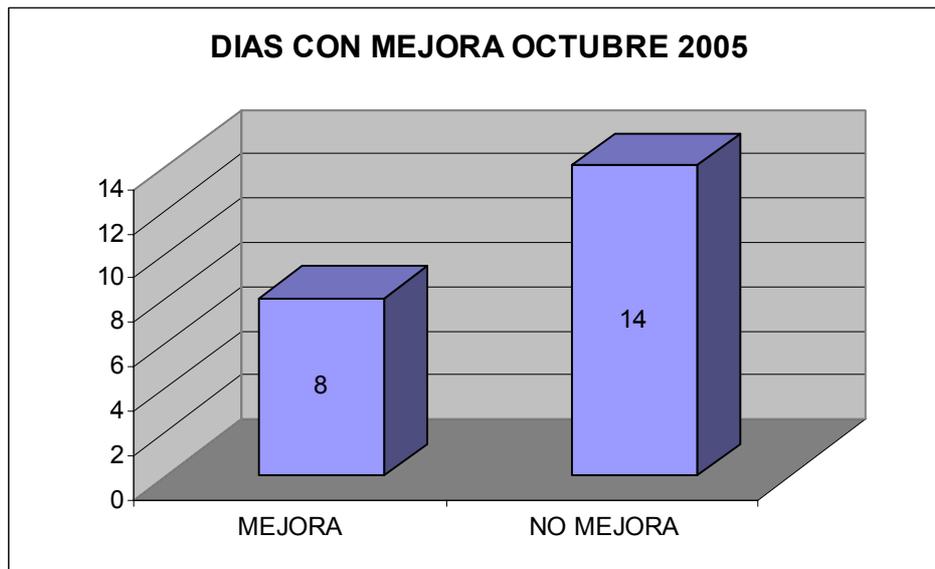


Figura 2: Número de días con mejoras Octubre 2005.

Es interesante destacar que en dos días (el 17 y el 24) se obtienen mejoras que suman 70 pesos por cada día. La razón de esta singular mejora no es más que una particularidad de los datos (ver anexo 1). Resulta que para llegar al punto de venta 15 (Mayorista 10 de Curicó) el modelo pasa por el punto de venta 2 (BRYC 2) y después sigue hasta el punto de venta 15, puesto que resulta 0,2 Km más corto que ir directamente desde el centro de distribución hasta el punto de venta 15. Dado que el costo de transporte del camión asignado es de 350 pesos por kilómetro, encontramos rápidamente los 70 pesos de mejora. En los días en que no se consiguen mejoras Empresas Bravo opera en el óptimo, excepto por los dos días antes mencionados.

El modelo logra mejoras sobre el desempeño del operador por que cuando hay cargas que no completan un camión para un punto de venta, es capaz de distribuir mejor la carga entre los camiones y los viajes disponibles que el operador. Estas mejoras son mínimas como se puede apreciar en el 3,44% de reducción de costos. Por lo tanto se producen mejoras cuando los puntos de venta piden cargas pequeñas, en comparación a la capacidad de los camiones.

Por lo tanto tan sólo se obtienen mejoras reales en 6 casos de los 23 que se corrieron, totalizando un 3,43% de mejora en costos de transporte con respecto al ruteo que realizó Empresas Bravo durante el mes de Octubre del año 2005.

Además existen dos casos (día 3 y 27) en los cuales no se pudo obtener un resultado ya que el programa arrojó un error por falta de memoria. Para estos dos días se tomó el resultado del ruteo que había realizado la empresa. Este resultado se saca de la línea base presentada en la tabla 3.

Por último, con respecto al tiempo de resolución, varía entre 27 segundos y 8 horas y media, con un promedio de 46 minutos (aunque en 15 casos no supera el minuto y medio). Desde el punto de vista operacional, en algunos casos, el tiempo de resolución es muy extenso puesto que el administrador de los camiones no puede estar esperando 8 horas por el ruteo de los vehículos. La razón de esto es que los pedidos de los puntos de venta se reciben a las 5 de la tarde a más tardar y el paletizado debe comenzar casi de inmediato para asegurar que los palets estén listos para ser despachados a la mañana siguiente. Los camiones empiezan a ser despachados a las 8 de la mañana y en algunos casos a las 5 de la mañana.

9.3 Reducción del tiempo de solución

Debido al largo tiempo de resolución que tienen algunas corridas del modelo de programación lineal entera mixta, a continuación se estudia la

posibilidad de agregar restricciones al modelo que permitan reducir este tiempo lo más posible.

Si los cortes son válidos, el resultado obtenido es el mismo pero con un tiempo de resolución menor. En caso contrario se está cortando y eliminando parte del espacio de soluciones factibles del problema e incluso el óptimo del problema. Si se corta parte del espacio de soluciones factibles hay que analizar cuanto se está dispuesto a sacrificar del óptimo por tener un resultado en un menor tiempo.

Implementar la siguiente restricción ayuda a reducir el tiempo de las corridas del modelo. A continuación se presenta la restricción y se explica su significado:

$$21. X_{ijkn} \leq \frac{(b_j + TW - (b_i + s_{ki} + tiempo_{ij}))}{(b_j + TW + b_i + s_{ki} + tiempo_{ij})} + 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall n \in N$$

La restricción 21 elimina todas las variables que producen resultados que estén fuera del rango de la ventana de tiempo con respecto a los tiempos b_i en que se les prometió a los puntos de venta, ser atendidos por los camiones. La idea es que si no puedo llegar, dentro de la ventana de tiempo, desde el cliente i hasta el cliente j , entonces elimino la posibilidad que se realice ese trayecto (pero en función de los tiempos de arribo prometido a los puntos de venta). No se imponen ventanas duras de tiempo, pero la restricción que se agrega elimina soluciones que intuitivamente no deberían ser buenas.

La restricción opera de la siguiente forma: si el tiempo entre el minuto prometido de llegada b_i , la atención del punto de venta i , y el tiempo de transporte hasta el punto de venta j superan la ventana de tiempo permitida, entonces elimino la variable que representa la posibilidad de hacer ese trayecto.

De esta forma se eliminan soluciones factibles del problema, es decir se acota el espacio de soluciones factibles, y en algunos casos se elimina el óptimo del espacio de soluciones que puede escoger el modelo. Para este caso en particular, al aplicar esta nueva restricción (21) cambio calidad de la solución por una mejora en el tiempo de resolución.

Es importante notar que al restringir más el problema y al cortar el espacio de soluciones factibles, se espera que ocurran dos efectos en simultáneo: primero que el modelo resuelva las instancias en un tiempo menor o igual a los presentados en la tabla 4, y segundo, que el resultado sea peor, o en el mejor de los casos igual.

Al implementar la nueva restricción se obtiene un nuevo modelo de programación lineal entera mixta que arroja los siguientes resultados:

FECHA	DÍA	BRYC	VRPTW	% MEJORA	TIEMPO
03-10-2005	Lunes	191.330	186.745	2,40%	1.047,70
04-10-2005	Martes	205.660	205.660	0,00%	27,72
05-10-2005	Miércoles	110.780	110.780	0,00%	31,39
06-10-2005	Jueves	34.087	30.660	10,05%	128,56
07-10-2005	Viernes	60.550	60.550	0,00%	26,49
08-10-2005	Sábado	79.240	79.240	0,00%	27,81
11-10-2005	Martes	313.165	313.165	0,00%	30,26
12-10-2005	Miércoles	271.760	242.480	10,77%	31,5
13-10-2005	Jueves	29.820	29.820	0,00%	30
14-10-2005	Viernes	115.885	115.885	0,00%	40,25
15-10-2005	Sábado	5.530	5.530	0,00%	27,22
17-10-2005	Lunes	166.880	166.810	0,04%	63,39
18-10-2005	Martes	295.210	295.210	0,00%	77,95
19-10-2005	Miércoles	83.580	83.580	0,00%	25,52
20-10-2005	Jueves	172.710	172.710	0,00%	26,39
21-10-2005	Viernes	135.030	135.030	0,00%	52,52
22-10-2005	Sábado	79.310	79.310	0,00%	26,06
24-10-2005	Lunes	49.070	49.000	0,14%	69,27
25-10-2005	Martes	346.030	346.030	0,00%	32,14

26-10-2005	Miércoles	237.460	218.960	7,79%	49,33
27-10-2005	Jueves	35.840	30.800	14,06%	406,75
28-10-2005	Viernes	115.080	115.080	0,00%	31,84
29-10-2005	Sábado	115.030	109.830	4,52%	25,61

	BRYC	VRPTW (2)	MEJORA
TOTAL	3.249.037	3.182.865	2,04%

Tabla 5: Resultados implementando la nueva restricción.

Como se puede ver en la tabla 5 el modelo de programación lineal logra reducir el costo del ruteo del mes de octubre en un 2,04%. Lo que representa 66.172 pesos. Además existen diferencias en los tiempos de resolución, ahora el tiempo varía entre 26 segundos y 17,5 minutos, lo que constituye un buen tiempo de resolución. Con un promedio de 1,7 minutos, muy por debajo de los resultados encontrados en el caso anterior. Todas las instancias testeadas arrojan un resultado, a diferencia del caso anterior donde dos instancias no arrojan solución.

El modelo logra mejoras en 8 de los 23 días testeados. A pesar que el modelo consigue mejoras en el mismo número de días que en el caso anterior, los días en los que se encuentran estas mejoras no son exactamente los mismos. Primero el modelo con la restricción 21 logra mejoras en los dos casos que el modelo inicial no puede encontrar solución (3 y 27 de octubre). En los otros días que el primer modelo consigue mejoras, el segundo modelo con la restricción 21 también consigue mejoras pero de menor magnitud, a excepción de los días 11 y 21 de Octubre en los cuales el modelo con la restricción 21 no obtiene ninguna mejora. Esto produce la diferencia entre el 3,44% y el 2,04% de las mejoras entre los dos casos.

La diferencia entre las mejoras de los dos modelos se explica por la implementación de la restricción 21 que corta parte del espacio de soluciones factibles donde se encuentra el óptimo del problema y por lo tanto en el segundo

modelo no se llega a una tan buena solución como en el primero, para los casos antes mencionados. Eventualmente otros cortes pueden ser implementados en conjunto con el propuesto en la restricción 21.

9.4 Análisis de los resultados

Ante las dos posibilidades anteriormente expuestas, surge naturalmente una tercera iniciativa que aproveche lo mejor de las dos, es decir guardar los mejores resultados de ambas partes. Al hacer esto se obtiene la siguiente tabla resumen del mes de Octubre del año 2005:

FECHA	DÍA	BRYC	VRPTW	% MEJORA	TIEMPO
03-10-2005	Lunes	191.330	186.745	2,40%	1.047,70
04-10-2005	Martes	205.660	205.660	0,00%	27,72
05-10-2005	Miércoles	110.780	110.780	0,00%	31,39
06-10-2005	Jueves	34.087	30.660	10,05%	128,56
07-10-2005	Viernes	60.550	60.550	0,00%	26,49
08-10-2005	Sábado	79.240	79.240	0,00%	27,81
11-10-2005	Martes	313.165	294.701	5,90%	58,72
12-10-2005	Miércoles	271.760	237.580	12,58%	658,56
13-10-2005	Jueves	29.820	29.820	0,00%	30
14-10-2005	Viernes	115.885	115.885	0,00%	40,25
15-10-2005	Sábado	5.530	5.530	0,00%	27,22
17-10-2005	Lunes	166.880	166.810	0,04%	63,39
18-10-2005	Martes	295.210	295.210	0,00%	77,95
19-10-2005	Miércoles	83.580	83.580	0,00%	25,52
20-10-2005	Jueves	172.710	172.710	0,00%	26,39
21-10-2005	Viernes	135.030	111.755	17,24%	57,91
22-10-2005	Sábado	79.310	79.310	0,00%	26,06
24-10-2005	Lunes	49.070	49.000	0,14%	69,27
25-10-2005	Martes	346.030	346.030	0,00%	32,14
26-10-2005	Miércoles	237.460	210.525	11,34%	49,66
27-10-2005	Jueves	35.840	30.800	14,06%	406,75
28-10-2005	Viernes	115.080	115.080	0,00%	31,84
29-10-2005	Sábado	115.030	109.830	4,52%	25,61

BRYC	CONJUNTO	MEJORA
------	----------	--------

TOTAL	3.249.037	3.127.791	3,73%
--------------	------------------	------------------	--------------

Tabla 6: Resultado conjunto.

Del total de los días testeados 10 presentan mejoras, y el tiempo de solución en el peor de los casos no supera los 20 minutos. Esto se puede observar claramente en la siguiente tabla:

	BRYC	VRPTW	MEJORA	TIEMPO DE RESOLUCIÓN (SEG)	
				MAXIMO	MÍNIMO
COSTO CON RESTRICCIÓN	3.249.037	3.182.865	2,04%	1.048	26
COSTO ÓPTIMO	3.249.037	3.137.416	3,44%	30.638	27
COSTO COMPLEMENTO	3.249.037	3.127.791	3,73%	1.048	26

Tabla 7: Resumen de resultados.

La razón por la cual el resultado de los dos modelos complementados es mejor se debe a que el segundo modelo obtiene solución y mejoras en los dos casos que el primer modelo no encuentra solución. Producto de estas mejoras el resultado final mejora en un 0,29%, obteniendo un costo de transporte 3,73% menor que el administrador de los camiones. Con respecto al nivel de servicio en ambos casos se cumple con el mismo 100% que logra la empresa ya que todos los camiones realizan sus despachos dentro de la jornada laboral.

Lo más importante a destacar, más allá de obtener una leve mejora en la reducción del costo de transporte, es la reducción en el tiempo de solución obteniendo los mismos resultados o mejores. Es en el tiempo de resolución del modelo donde se hace verdaderamente interesante complementar las dos formas de resolver el problema, ya que se obtienen resultados en menos de 20 minutos.

Por lo tanto se recomienda seguir la siguiente metodología:

- Primero correr el modelo de programación lineal con la restricción que limita la violación de ciertas ventanas de tiempo. Con este resultado se puede obtener una solución inicial para el despacho del día siguiente en un tiempo reducido.
- Segundo, correr el modelo sin la restricción 21, y esperar a ver si entrega un mejor resultado. En caso que esto ocurra y dentro de un plazo razonable para el administrador de los camiones, se sugiere implementar este nuevo ruteo.

La idea es automatizar este proceso para que el administrador de los camiones tan sólo apriete un botón y obtenga el primer resultado, y después el segundo modelo siga corriendo hasta que arroje un segundo resultado el cual se avise por medio de una alarma. Puede quedar predefinido una cota máxima de tiempo para que corra el segundo modelo, después de la cual no se muestre ningún resultado, y aparezca un mensaje diciendo: "No se encontró un mejor resultado".

De esta forma el administrador puede sacar el mayor provecho posible de los resultados de los dos modelos. Sin tener que accionar más que un botón y esperar un resultado. Si a pesar de seguir estos pasos el administrador no encuentra solución, no le quedará otra que recurrir al método manual que hasta el día de hoy utiliza.

10 Conclusiones

Después de estudiar la cadena de suministro de Empresas Bravo y el sistema de ruteo de vehículos con el que trabaja para realizar los despachos a los distintos puntos de venta desde su centro de distribución, ubicado en Curicó, la primera conclusión es que el administrador de los camiones está haciendo un buen trabajo en ruteo diario de sus vehículos. Puesto que su forma actual de operar entrega resultados que con un modelo exacto no pudieron ser mejorados más que en un 3,73%, para las instancias testeadas del mes de Octubre de 2005.

Las mejoras encontradas coinciden con el 4% propuesto en los resultados presentados en la revisión bibliográfica [8]. Según los datos obtenidos las mejoras se estiman en 1.400.000 pesos anuales. A primera vista puede parecer un ahorro interesante, pero resulta que es necesario capacitar a un operario para que administre y haga funcionar el modelo, y además adquirir el solver que resuelve el problema. El solver tiene un costo comercial cercano a los 6.000 dólares lo que haría que esta implementación fuera rentable recién después del tercer o cuarto año de implementación en el mejor de los casos. Por lo tanto no se recomienda implementar el modelo puesto que no resulta rentable en el corto plazo.

Debido a la magnitud reducida del problema y a la forma de realizar los despachos que tiene Empresas Bravo, se obtienen resultados en un tiempo relativamente corto. Si en un futuro próximo, aumenta el número de los puntos de venta y de los camiones utilizados para el reparto, lo más probable es que ya no se pueda encontrar buenos resultados en un tiempo razonable con el modelo de programación lineal propuesto en este trabajo, debido a la naturaleza combinatorial del problema enfrentado. Quedando como alternativa, la posibilidad de implementar una heurística para resolver el problema de ruteo.

11 Recomendaciones

Se recomienda no implementar el modelo de programación lineal entera mixta a nivel del ruteo de vehículos puesto que actualmente Empresas Bravo ya está logrando un buen resultado de forma manual.

También se recomienda revisar de forma periódica (una vez al año por ejemplo) si las dimensiones del problema aumentan y hacen muy difícil para el operador generar de forma manual el ruteo. En tal caso una buena solución es diseñar una metodología para generar ruteos en forma manual pero con mejores resultados, o implementar una heurística que sea capaz de competir con el modelo de programación lineal entera mixta en lo que respecta a calidad de resultados y tiempos de resolución.

Además se recomienda analizar la forma en la que actualmente se está realizando el paletizado en el centro de distribución y la metodología que ocupan para armar los palets que son despachados a los puntos de venta. Es importante puesto que los camiones requieren de los palets armados a primera hora para poder salir a tiempo y cumplir con sus despachos.

Finalmente se recomienda analizar el proceso de descarga que se realiza en los puntos de venta. Para esto, deben implementar primero la metodología propuesta en el capítulo 7 con los proveedores y en simultáneo optimizar el proceso de descarga que utilizan para atender a los proveedores. Con estas dos medidas en conjunto se puede lograr un mejor nivel de servicio en los puntos de venta, en el área de descarga, y reducir el largo promedio de la cola de espera de los proveedores fuera de los puntos de venta.

12 Bibliografía

[1] Y. M. Cheong, H. L. Ong, H. C. Huang: "Modeling vehicle routing problem for a soft drink distribution company", *Asia-Pacific Journal of operational research* 19, 17-34, 2002.

[2] D. K. Gupta: "A new algorithm to solve vehicle routing problems (VRPs)", *International Journal of Computer Mathematics*, 80(3), 267-274, 2003.

[3] D. K. Gupta: "Tabu search for vehicle routing problems (VRPs)", *International Journal of Computer Mathematics*, 79(6), 693-701, 2002.

[4] Olatz Arbelaitz, Clemente Rodriguez: "Comparison of systems based on evolutionary search and simulated annealing to solve the VRPTW problem", *International journal of computational intelligence and applications*, 4, 27-39, 2004.

[5] Vishal Gaur, Marshall L. Fisher: "A periodic inventory routing problem at a supermarket chain", *Operations Research*, 52, 813-822, 2004.

[6] Hang Xu, Zhi-Long Chen, Srinivas Rajagopal, Sundar Arunapuram: "Solving a practical pickup and delivery problem", *Transportation Science*, 37(3), 347-364, 2003.

[7] James P. Kelly, Jiefeng Xu: "A set partitioning-based heuristic for the vehicle routing problem", *Journal on Computing*, 11(2), 1999.

[8] Ching-Wu Chu: "A heuristic algorithm for the truckload and less than truckload problem", *European Journal of Operational Research*, 165, 657-667, 2004.

[9] Paolo Toth, Daniele Vigo (eds.): *The vehicle Routing Problem*, III. Siam, Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2002.

[10] Sebastián Souyris: “Enfoque basado en generación de columnas y constraint programming para resolver el problema de despacho dinámico de técnicos” Tesis de Magíster en Gestión de Operaciones, Universidad de Chile, 2004.

[11] Andrés Weintraub, Curso Modelos Industriales (IN740), Santiago, Chile, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial (DII), II Semestre 2004.

13 Anexos

Anexo 1: Tabla de distancias

	CDC	B1	B2	B3	B5	B7	B8	B9	B12	B16	B19	B20	B27	B28	B30	M10C	M10R	PUL	PUR	PUR	
Punto Venta	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18	
CDC	0	0	7,9	7,7	26	13	175	185	8,4	6,2	7,7	52	26	97	27	104	9,4	97	13	10	0
B1	1	7,9	0	1	23,1	20,4	172	182	1,3	2,4	1,2	60	23	105	20,2	112	1,8	105	9,4	16	7,9
B2	2	7,7	1	0	23	20,2	172	182	1	2,6	1	60	23	105	21	112	1,5	105	9,3	16	7,7
B3	3	26	23,1	23	0	38,7	165	175	23,5	20,9	23,4	78	0,2	125	1,5	132	23,9	125	6,2	34	26
B5	4	13	20,4	20,2	38,7	0	188	198	20,9	18,7	20,2	40	39	95	36	101,7	21,9	95	25	23	13
B7	5	175	172	172	165	188	0	105	172	170	172	227	165	310	193	317	173	310	169	183	175
B8	6	185	182	182	175	198	105	0	182	180	182	237	175	280,1	163	287	183	280,1	179	193	185
B9	7	8,4	1,3	1	23,5	20,9	172	182	0	3,3	1,2	60	23	104,7	21	112	1,3	104,7	9,8	16	8,4
B12	8	6,2	2,4	2,6	20,9	18,7	170	180	3,3	0	3,3	58	21	104	20	111	3,7	104	7,2	14	6,2
B16	9	7,7	1,2	1	23,4	20,2	172	182	1,2	3,3	0	60	23	105	22	113	0,7	105	9,7	16	7,7
B19	10	52	60	60	78	40	227	237	60	58	60	0	78	94	111	100,8	61	94	65	62	52
B20	11	26	23	23	0,2	39	165	175	23	21	23	78	0	125	1,6	132	24	125	6	34	26
B27	12	97	105	105	125	95	310	280,1	104,7	104	105	94	125	0	124,7	82	105	0,25	117	109	97
B28	13	27	20,2	21	1,5	36	193	163	21	20	22	111	1,6	124,7	0	131,7	22	124,7	10	30	27
B30	14	104	112	112	132	101,7	316,6	287	112	111	113	100,8	132	82	131,7	0	112	82	124	115,5	104
M10C	15	9,4	1,8	1,5	23,9	21,9	173	183	1,3	3,7	0,7	61	24	105	22	112	0	105	10	18	9,4
M10R	16	97	105	105	125	95	310	280,1	104,7	104	105	94	125	0,25	124,7	82	105	0	117	109	97
PUL	17	13	9,4	9,3	6,2	25	169	179	9,8	7,2	9,7	65	6	117	10	124	10	117	0	21	13
PUR	18	10	16	16	34	23	183	193	16	14	16	62	34	109	30	115,5	18	109	21	0	10
PUR	18	0	7,9	7,7	26	13	175	185	8,4	6,2	7,7	52	26	97	27	104	9,4	97	13	10	0

Distancias en kilómetros

Anexo 2: Tabla de tiempos (en minutos) camión tipo 1 (8 palets)

	CDC	B1	B2	B3	B5	B7	B8	B9	B12	B16	B19	B20	B27	B28	B30	M10C	M10R	PUL	PUR	CDC
Punto Venta	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0
CDC	0	15	15	30	25	150	150	15	15	15	50	30	60	30	60	15	60	20	15	0
B1	15	0	5	30	45	150	150	10	10	10	70	30	75	30	75	10	75	20	30	15
B2	15	5	0	30	45	150	150	10	10	10	70	30	75	30	75	10	75	20	30	15
B3	30	30	30	0	50	120	120	30	30	30	80	5	90	10	90	30	90	10	40	30
B5	25	45	45	50	0	180	180	45	45	45	30	50	55	50	55	45	55	40	35	25
B7	150	150	150	120	180	0	120	150	150	150	200	120	210	120	210	150	210	130	150	150
B8	150	150	150	120	180	120	0	150	150	150	200	120	210	120	210	150	210	130	150	150
B9	15	10	10	30	45	150	150	0	10	10	70	30	75	30	75	5	75	20	30	15
B12	15	10	10	30	45	150	150	10	0	10	70	30	75	30	75	10	75	20	30	15
B16	15	10	10	30	45	150	150	10	10	0	70	30	75	30	75	10	75	20	30	15
B19	50	70	70	80	30	200	200	70	70	70	0	80	90	80	90	70	90	70	60	50
B20	30	30	30	5	50	120	120	30	30	30	80	0	90	10	90	30	90	10	40	30
B27	60	75	75	90	55	210	210	75	75	75	90	90	0	90	60	75	5	110	70	60
B28	30	30	30	10	50	120	120	30	30	30	80	10	90	0	90	30	90	10	30	30
B30	60	75	75	90	55	210	210	75	75	75	90	90	60	90	0	75	60	110	70	60
M10C	15	10	10	30	45	150	150	5	10	10	70	30	75	30	75	0	75	20	30	15
M10R	60	75	75	90	55	210	210	75	75	75	90	90	5	90	60	75	0	110	70	60
PUL	20	20	20	10	40	130	130	20	20	20	70	10	110	10	110	20	110	0	30	20
PUR	15	30	30	40	35	150	150	30	30	30	60	40	70	30	70	30	70	30	0	15
CDC	0	15	15	30	25	150	150	15	15	15	50	30	60	30	60	15	60	20	15	0

Anexo 3: Tabla de tiempos (en minutos) camión tipo 2 (12 palets, y 24 palets)

	CDC	B1	B2	B3	B5	B7	B8	B9	B12	B16	B19	B20	B27	B28	B30	M10C	M10R	PUL	PUR	CDC
Punto Venta	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0
CDC	0	20	20	30	30	180	180	20	20	20	60	30	90	30	90	20	90	20	15	0
B1	20	0	5	30	40	180	180	10	10	10	80	30	110	30	110	5	110	20	15	20
B2	20	5	0	30	40	180	180	10	10	10	80	30	110	30	110	5	110	20	15	20
B3	30	30	30	0	50	160	160	30	30	30	90	5	120	10	120	30	120	15	40	30
B5	30	40	40	50	0	210	210	40	40	40	40	50	70	50	70	40	70	50	40	30
B7	180	180	180	160	210	0	120	180	180	180	240	160	270	150	270	180	270	150	170	180
B8	180	180	180	160	210	120	0	180	180	180	240	160	270	150	270	180	270	150	170	180
B9	20	10	10	30	40	180	180	0	10	10	80	30	110	30	110	5	110	20	15	20
B12	20	10	10	30	40	180	180	10	0	15	80	30	110	30	110	15	110	20	15	20
B16	20	10	10	30	40	180	180	10	15	0	80	30	110	30	110	5	110	20	15	20
B19	60	80	80	90	40	240	240	80	80	80	0	90	60	90	60	80	60	80	75	60
B20	30	30	30	5	50	160	160	30	30	30	90	0	120	10	120	30	120	15	40	30
B27	90	110	110	120	70	270	270	110	110	110	60	120	0	120	60	110	5	110	105	90
B28	30	30	30	10	50	150	150	30	30	30	90	10	120	0	120	30	120	10	40	30
B30	90	110	110	120	70	270	270	110	110	110	60	120	60	120	0	110	60	110	105	90
M10C	20	5	5	30	40	180	180	5	15	5	80	30	110	30	110	0	110	20	15	20
M10R	90	110	110	120	70	270	270	110	110	110	60	120	5	120	60	110	0	110	105	90
PUL	20	20	20	15	50	150	150	20	20	20	80	15	110	10	110	20	110	0	30	20
PUR	15	15	15	40	40	170	170	15	15	15	75	40	105	40	105	15	105	30	0	15
CDC	0	20	20	30	30	180	180	20	20	20	60	30	90	30	90	20	90	20	15	0

Anexo 4: Tabla de tiempos (en minutos) camión tipo 3 (18 palets)

	CDC	B1	B2	B3	B5	B7	B8	B9	B12	B16	B19	B20	B27	B28	B30	M10C	M10R	PUL	PUR	CDC
Punto Venta	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0
CDC	0	30	30	40	25	180	180	30	30	30	60	40	90	40	120	30	90	30	20	0
B1	1	0	10	30	45	195	195	10	10	10	90	30	120	30	150	10	120	20	30	30
B2	2	30	0	30	45	195	195	10	10	10	90	30	120	30	150	10	120	20	30	30
B3	3	40	30	0	50	160	160	30	30	30	100	10	130	15	160	30	130	20	40	40
B5	4	25	45	45	0	205	205	45	45	45	45	50	70	50	100	45	70	55	45	25
B7	5	180	195	195	160	0	120	195	195	195	240	160	270	160	300	195	270	160	180	180
B8	6	180	195	195	160	205	120	0	195	195	195	240	160	270	160	300	195	270	160	180
B9	7	30	10	10	30	45	195	195	0	10	10	90	30	120	30	150	10	120	20	30
B12	8	30	10	10	30	45	195	195	10	0	10	90	30	120	30	150	10	120	20	30
B16	9	30	10	10	30	45	195	195	10	10	0	90	30	120	30	150	10	120	20	30
B19	10	60	90	90	100	45	240	240	90	90	90	0	130	40	130	90	90	60	80	80
B20	11	40	30	30	10	50	160	160	30	30	30	130	0	130	10	160	30	130	20	40
B27	12	90	120	120	130	70	270	270	120	120	120	40	130	0	130	60	120	5	120	110
B28	13	40	30	30	15	50	160	160	30	30	30	130	10	130	0	160	30	130	20	40
B30	14	120	150	150	160	100	300	300	150	150	150	90	160	60	160	0	150	30	150	140
M10C	15	30	10	10	30	45	195	195	10	10	10	90	30	120	30	150	0	120	30	30
M10R	16	90	120	120	130	70	270	270	120	120	120	60	130	5	130	30	120	0	120	110
PUL	17	30	20	20	20	55	160	180	20	20	20	80	20	120	20	150	30	120	0	40
PUR	18	20	30	30	40	45	160	180	30	30	30	80	40	110	40	140	30	110	40	0
CDC	0	0	30	30	40	25	180	180	30	30	30	60	40	90	40	120	30	90	30	20

Anexo 5: Detalle del ruteo del mes de octubre 2005

FECHA	CAMION	CHOFER	CONTROL	ORIGEN	CLIENTE	DESTINO	KILO	KILOS	PALLET
30-09-2005	UU5601	VALDIVIA	23.578	CD	INTERNO	B2	19	1.500	3
01-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.579	CD	INTERNO	B30	198	2.500	5
03-10-2005	SK4431	LAZO	22.670	CD	INTERNO	M10CURICO	18	12.000	12
03-10-2005	SK4431	LAZO	22.671	CD	INTERNO	M10CURICO	20	10.000	11
03-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23582	CD	INTERNO	B28	51	2.000	3
03-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.581	CD	INTERNO	B2	18	10.000	11
03-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.580	CD	INTERNO	B9	19	7.000	11
03-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22575	CD	INTERNO	B8	369	14.000	16
04-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23584	CD	INTERNO	B19	100	6.000	9
04-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23583	CD	INTERNO	B20	55	3.000	5
04-10-2005	XA8696	OLIVA	22.531	CD	INTERNO	B1	18	9.000	12
04-10-2005	XA8696	OLIVA	22.532	CD	INTERNO	B1	21	7.000	10
04-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22.576	CD	INTERNO	B7	348	15.000	18
05-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23587	CD	INTERNO	B3	60	10.000	12
05-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23586	CD	INTERNO	B9	19	7.000	11
05-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23585	CD	INTERNO	B5	23	8.000	12
05-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22.577	CD	INTERNO	M10RANCAGUA	210	15.000	18
06-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.589	CD	INTERNO	B2	19	6.000	12
06-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.588	CD	INTERNO	B28	51	8.000	10
06-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22.486	CD	INTERNO	B1	18	10000	12
06-10-2005	VA4715	ARROS	22957	CD	INTERNO	B9	25	700	2
07-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.592	CD	INTERNO	B19	100	10.000	11
07-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.591	CD	INTERNO	B9	19	10.000	12

07-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.590	CD	INTERNO	B20-3	53	10.000	12
08-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23594	CD	INTERNO	B1-2	19	5.000	7
08-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23593	CD	INTERNO	B1	18	10.000	12
08-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22.488	CD	INTERNO	M10RANCAGUA	210	22.000	24
11-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.596	CD	INTERNO	B30	198	5.500	8
11-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.595	CD	INTERNO	B2	18	12.000	12
11-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22.489	CD	INTERNO	B3-28-MOLINA	55	11.000	12
11-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22.490	CD	INTERNO	B27RANCAGUA	207	9.000	12
11-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22.580	CD	INTERNO	B8	367	15.000	18
12-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.598	CD	INTERNO	M10CURICO	20	10.000	10
12-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.597	CD	INTERNO	B5	26	5.000	7
12-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22.491	CD	INTERNO	M10RANCAGUA	207	8.000	9
12-10-2005	XA8696	OLIVA	22.538	CD	INTERNO	M10CURICO	22	11.000	11
12-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22.581	CD	INTERNO	B7	348	15.500	18
12-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22582	CD	INTERNO	B19	106	15.000	18
13-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.600	CD	INTERNO	B1	18	12.000	12
13-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.599	CD	INTERNO	B2	18	6.000	7
13-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.603	CD	INTERNO	B28	51	3.000	6
14-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.607	CD	INTERNO	B30	198	4.000	6
14-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.606	CD	INTERNO	B9-M10CURICO	21	10.000	12
14-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.605	CD	INTERNO	B3	53	11.000	12
14-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.604	CD	INTERNO	B20	53	3.000	7
15-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.608	CD	INTERNO	B1	20	11.000	12
17-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.610	CD	INTERNO	B28	58	3.000	7

17-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.609	CD	INTERNO	B8	360	10.000	12
17-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22494	CD	INTERNO	M10CURICO	21	8.300	9
17-10-2005	XA8696	OLIVA	22542	CD	INTERNO	B2	21	9.000	12
17-10-2005	XA8696	OLIVA	22543	CD	INTERNO	M10-B2	21	8.000	10
18-10-2005	SK4431	LAZO	22681	CD	INTERNO	B1	19	10.000	12
18-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.613	CD	INTERNO	B30-19	208	6.000	9
18-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.612	CD	INTERNO	B20	53	2.000	6
18-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22.586	CD	INTERNO	B7	348	15.000	18
18-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22587	CD	INTERNO	B19	103	15.000	18
19-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.615	CD	INTERNO	M10CURICO	20	6.000	8
19-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.614	CD	INTERNO	B5	23	5.000	8
19-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22496	CD	INTERNO	M10RANCAGUA	207	10.000	12
20-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23617	CD	INTERNO	B1-2	19	6.000	12
20-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.616	CD	INTERNO	B28	51	4.000	7
20-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22590	CD	INTERNO	B8	367	15.000	18
21-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23620	CD	INTERNO	B19	99	6.000	6
21-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23619	CD	INTERNO	B9	20	10.000	12
21-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23618	CD	INTERNO	B20-3	54	6.000	8
21-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22498	CD	INTERNO	B27	207	7.500	12
21-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22499	CD	INTERNO	M10CURICO	21	7.800	9
22-10-2005	UU9338	MUÑOZ	22500	CD	INTERNO	M10RANCAGUA	208	15.000	21
22-10-2005	XA8696	OLIVA	22.547	CD	INTERNO	B1	25	9.000	12
22-10-2005	XA8696	OLIVA	22.548	CD	INTERNO	B9	30	6.000	6
24-10-2005	SK4431	LAZO	22.686	CD	INTERNO	B2	14	12.000	12
24-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23621	CD	INTERNO	B28	51	3.000	5

24-10-2005	XA8696	OLIVA	22.550	CD	INTERNO	B3	54	8.000	10
24-10-2005	XA8696	OLIVA	23651	CD	INTERNO	M10CURICO	26	10.000	12
25-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.623	CD	INTERNO	B30	198	3.000	5
25-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.622	CD	INTERNO	B20	53	3.000	6
25-10-2005	UU9338	MUÑOZ	23.701	CD	INTERNO	B1	18	8.000	9
25-10-2005	XA8696	OLIVA	23652	CD	INTERNO	B27	203	7.000	9
25-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22591	CD	INTERNO	B7	348	15.000	18
25-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22592	CD	INTERNO	B19	103	15.000	18
26-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23626	CD	INTERNO	M10CURICO	20	7.000	12
26-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.625	CD	INTERNO	B9	19	4.000	8
26-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.624	CD	INTERNO	B5	23	5.000	8
26-10-2005	UU9338	MUÑOZ	23.703	CD	INTERNO	M10RANCAGUA	207	8.500	9
26-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22593	CD	INTERNO	B8	366	10.000	14
27-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23628	CD	INTERNO	B12-16	21	3.000	7
27-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23627	CD	INTERNO	B28	51	3.000	5
27-10-2005	XA8696	OLIVA	23654	CD	INTERNO	B1	18	10.000	12
27-10-2005	XA8696	OLIVA	23655	CD	INTERNO	B2	18	9.000	12
28-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23.632	CD	INTERNO	B30	198	4.000	6
28-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23631	CD	INTERNO	B9	19	10.000	12
28-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23630	CD	INTERNO	B3	53	9.000	9
28-10-2005	UU5601	VALDIVIA	23629	CD	INTERNO	B20	53	3.000	5
29-10-2005	SK4431	LAZO	22691	CD	INTERNO	B1	16	10.000	12
29-10-2005	UU9338	MUÑOZ	23.706	CD	INTERNO	M10RANCAGUA	208	20.000	19
29-10-2005	XA8697	RAMIREZ	22594	CD	INTERNO	B19	103	10.000	16
			FLETE				METROS		

							9.109	815.300	1.033

Anexo 6

	Descarga Manual	Descarga Plataforma	Descarga Grúa
Camión 8 palets (min.)	100	23	16
Camión 12 palets (min.)	150	33	25
Camión 18 palets (min.)	200	44	32
Camión 24 palets (min.)	300	66	50