

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial

**Modelo de optimización para el ruteo con capacidad
y ventanas de tiempos.
Caso "Cobres Cerrillos S.A."**

por

William Cofré Díaz

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y título de
Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía
Enrique Fajó

Julio, 2015

Agradecimientos

Al profesor guía, Enrique Fajó, cuyo constante apoyo calidad humana, académica, participación constante y su incondicional compromiso en todo el proceso de esta investigación es el reflejo del cumplimiento de este proyecto.

A mi madre por la confianza que depositó en mí durante este largo proceso. Infinitas gracias por el apoyo incondicional y el esfuerzo que realizó para que mi meta se cumpliera.

A mi esposa, quién me ayudó y apoyó en este trabajo de título, dándome toda la confianza necesaria para llevar a cabo este proyecto.

William Cofré Díaz

Índice

Lista de Abreviaturas y Siglas.....	5
Lista de tablas.....	6
Lista de figuras	6
Introducción	10
1. Situación actual	12
1.1 La empresa.....	12
1.1.1 Centro de distribución	13
1.1.2 Camiones	14
1.1.3 Los clientes.....	15
2. Planteamiento del problema	16
3. Objetivos.....	18
3.1 Objetivo general	18
3.2 Objetivos específicos	18
4. Marco Teórico.....	18
4.1 Logística	18
4.2 Ruteo vehicular (VRP)	23
4.3 Ruteo vehicular con capacidad (capacidad VRP-CVRP)	24
4.4 Ruteo vehicular con ventanas de tiempo (VRPTW).....	25
4.5 Modelos Algorítmicos	35
Tabla 4.5.1 - Cuadro comparativo de Modelo a utilizar	37
5. Modelo	38

6.	Software.....	42
6.4	Diseño y construcción del Sistema.....	47
7	Análisis de Indicadores	59
8	Conclusión.....	63
9	Bibliografía.....	66
10	Anexos.....	71

Lista de Abreviaturas y Siglas

CD = Centro de Distribución.

COCESA = Cobres Cerrillos S.A.

KV = kilo Volts.

N/V = Nota de Venta.

OC = Optimización combinatoria.

PDIC = Phelps Dodge International Corporation.

VRP = vehicle routing problema (Problemas de ruteo vehicular).

VRPTW= Vehicle routing problema with time windows. (Problemas de ruteo vehicular con ventanas de tiempo).

TDVRP= El Problema de Ruteo de Vehículos con Tiempos de Viaje Dependientes del Tiempo.

HTTP= Hypertext markup language.

HTML= Hyper Text Language : Lenguaje de Marcas de Hipertexto.

PHP = (acrónimo de PHP: Hypertext Preprocessir), Procesador de Hipertexto

Lista de tablas

Tabla 1.1.2.1 - Tabla de costos transportes.

Tabla 2.1.3.1 - Restricciones clientes.

Tabla 4.5.1 - Cuadro comparativo de Modelo a utilizar

Tabla 4.5.1 - Indicadores Cobres Cerrillos

Lista de figuras

Figura 2.1 - Diagrama de flujo del proceso actual de despacho.

Figura 4.4.1.1 - Función de Tiempos de Viaje de un arco (i,j) con $ij \in M$.

Figura 4.4.1.2 - (a) Ejemplo de Red. (b) Función step de Tiempos de Viaje.

Figura 4.4.1.3 - Cambio en velocidad de viaje durante el tiempo para un arco dado.

Figura 6.4.1.1 - Diagrama del proceso Software.

Figura 6.4.1.2 - Ingreso a phpMyAdmin

Figura 6.4.2.2 - Bases de datos Creadas.

Figura 6.4.3.1 - Creación una Consulta.

Figura 6.4.4.1 - Diseño General del Sistema.

Figura 6.5.1 - Secuencia de construcción del Sitio Web.

Figura 6.6.1- Página inicial del Sistema de Despacho.

Figura 6.6.2 - Pedidos pendientes.

Figura 6.6.3 - Ingresar pedidos.

Figura 6.6.4 - Ingreso de nuevos Clientes.

Figura 6.6.5 - Ingreso de nuevos Camiones.

Figura 6.6.6 - Asignación de camión a despacho según su capacidad en Área.

Figura 6.6.7 - Reporte de despacho.

Figura 6.6.8 - Mapa Ruta a realizar por camión.

Figura 7.2.1 – Indicador toneladas por camión.

Figura 7.3.1 – Indicador clientes por camión.

Figura 7.3.1 – Indicador costo tonelada despachada.

Resumen

En este trabajo de título se presenta un modelo que mejora los resultados operacionales en el despacho del área de bodega de los productos terminados de la empresa "Cobres Cerrillos", dedicada a la fabricación de conductores eléctricos y distribución dentro de la región Metropolitana.

La problemática que se genera a diario, es la inexistencia de un modelo de planificación de ruteo con capacidad y ventanas de tiempo en los despachos. En la actualidad, sólo se generan rutas con el conocimiento de los programadores, acostumbrados a ver si una carga está disponible para ser despachada, sin preocuparse de los cumplimientos hacia los clientes.

Es por esto, que se requiere el desarrollo de un modelo que asegure el cumplimiento en la entregas de los productos, incorporando restricciones temporales y así minimizar el costo de transporte. La solución se basa en la formulación de un problema de programación lineal que escoge mediante un modelo de optimización, las soluciones que serán consideradas como rutas factibles para el despacho.

Este modelo se aplica con datos reales analizando el comportamiento de los resultados respecto a la configuración de las rutas generadas. El resultado final de la heurística, contempla un aumento en el servicio y disminución en los costos de transporte.

Es por esto, que se crea un software de programación lineal, el cual nos da la ruta adecuada para realizar las entregas, disminuyendo tiempos de entrega, costos y

aumentando las toneladas despachadas y cumplimiento con los clientes en la fecha de entrega.

Introducción

Lo que hace necesaria la distribución de bienes y servicios, es la separación geográfica entre compradores y vendedores. Para lograr esta distribución, existen herramientas de optimización de rutas, distribución de carga y programación de camiones para el despacho, sin embargo, son pocas las empresas que tienen implementado este tipo de sistemas. En muchas ocasiones, los despachos, son construidos por medio de inspección visual mediante la experiencia de los trabajadores. Una de las razones de esta práctica está en el desconocimiento de dichas herramientas para el problema de ruteo de vehículos (VRP), la desconfianza de los beneficios y la poca oferta.

La distribución desde ciertos depósitos a los clientes juega un papel fundamental, ya que la adecuada planificación puede significar considerables ahorros y proporcionar una buena imagen para las empresas. Por lo mismo, en estas últimas cuatro décadas se ha realizado un gran esfuerzo para resolver estos problemas. En 1959, Dantzing y Ramser [12] realizaron por primera vez una formulación para el problema de distribución de combustible y cinco años más tarde, Clarke y Wright [23] propusieron el primer algoritmo que resultó efectivo para el problema de ruteo vehicular.

Ya considerando estos trabajos, el problema de ruteo vehicular ha crecido incorporando cada vez más características de la realidad, como por ejemplo, la incorporación de incidentes relevantes en cuanto al cambio en los tiempos de viajes habituales. Esto genera un aumento considerable de la demanda en la red de transporte y para ello, es

necesario considerar un plan de ruteo de la flota, con el fin de que se almacene con mayor frecuencia los niveles de servicio que la empresa pretende ofrecer.

El modelo a utilizar en esta investigación es el llamado ruteo vehicular con capacidad y ventanas de tiempo, en donde el aspecto espacial se une con el temporal, pudiendo así, incorporar la restricción de ventana de tiempo que den los clientes y las capacidades de los camiones para maximizar el beneficio.

En este contexto, la investigación de algoritmos heurísticos y meta heurísticos, son estrategias que con pocos cambios pueden ser aplicables a una amplia variedad de problemas, dando soluciones de alta calidad y así resolviendo problemas complejos de optimización.

1. Situación actual

1.1 La empresa

Cobres Cerrillos S.A (COCESA), es una empresa manufacturera que se dedica a la fabricación de conductores eléctricos. Esta empresa pertenece a la corporación **Phelps Dodge International Corporation (PDIC)**, la cual es una de las compañías más grande del mundo en lo que es conductores eléctricos.

La planta, cuenta con un equipo de avanzada y última tecnología para la producción de alambres y cables, y con una capacidad máxima de producción de 1.500 toneladas métricas, donde también han desarrollado sistemas de calidad, prácticas ambientales y procedimientos de seguridad que han recibido certificaciones bajo estándares internacionales como ISO 9001-2000, ISO 14001 e OHSAS 18001. Se apegan a estrictos controles de calidad en los procesos, siendo certificados por entidades como UL, Bureau Veritas, BASEC, KEMA, CFE etc.

COCESA, distribuye a todo Chile teniendo una cartera de 60 clientes fijos y también se exportan cables mineros hacia Argentina, cables de bajo y medio voltaje a Ecuador, Perú y Estados Unidos.

Dentro de las unidades de venta y recursos de logística, permiten estar presentes y preparados para suplir las necesidades y requerimientos de los valiosos clientes: entidades de energía pública, distribuidores y comerciantes de materiales eléctricos, firmas constructoras y de ingeniería, contratistas eléctricos y compañías industriales. Sus niveles de

ventas llegan a un promedio de 1.100 toneladas métricas mensuales, alcanzando un 110% de valor agregado.

Cobres Cerrillos cuenta con una amplia gama de trabajadores, dentro del área de bodega de productos terminados en donde hay 15 trabajadores, de los cuales 10 son despachadores, 2 líderes de turnos, 1 encargado de exportación, 1 encargado del sistema y 1 jefe de distribución.

1.1.1 Centro de distribución

El centro de distribución de Cobres Cerrillos, está ubicado dentro de la misma dependencia, ya que al ser una empresa manufacturera, recibe productos desde la planta de producción.

Sus bodegas se dividen en bodega de productos nacionales, bodega de productos de exportación, y bodega de carretes. En estas bodegas, existen conductores de bajo voltaje (máximo de 0,6 kV a 1 Kv) los cuales son usados en líneas eléctricas principales¹ y circuitos ramales² para instalaciones permanentes en construcciones residenciales, comerciales, industriales y públicas, dependiendo de las especificaciones y regulaciones locales. También existen conductores de mediano voltaje en cobre y aluminio de hasta 69 kV. Éstos, son adecuados para el uso en sitios mojados y secos, directamente enterrados en ductos subterráneos e instalaciones aéreas para aplicaciones industriales, mineras y de potencia, siguiendo los estándares y regulaciones locales e internacionales. Los de alto voltaje son de

¹ Las líneas eléctricas principales son básicamente el medio físico mediante el cual se realizan las transmisiones eléctricas.

² Los circuitos ramales son un conjunto de todos los elementos de un circuito comprometidos entre dos nodos consecutivos.

cobre y aluminio y soportan hasta 230 kV. Este tipo de cable son adecuados para usarlos en sitios mojados o secos, directamente enterrados, en ductos subterráneos e instalaciones aéreas para aplicaciones industriales y de potencia. Otro tipo de cable es el conductor de aluminio desnudo y se utiliza en líneas aéreas de transmisión y distribución. Y por último, están los cables de comunicación los cuales son manufacturados para satisfacer una amplia gama de especificaciones y requerimientos de los clientes de cables telefónicos de cobre, acometidas telefónicas, cables para conexión de regletas³, y cables de datos CTA 6^a. Todos estos productos deben ser distribuidos a los clientes en pallets⁴ o en carretes.

1.1.2 Camiones

La distribución de los productos, se hace por medio de dos empresas externas de transportes. Una de ellas, cuenta con dos camiones de 3,5 toneladas y cuatro camiones de 10 toneladas y la otra con dos camiones de 3,5 toneladas, un camión de 5 toneladas, y uno de 10 toneladas.

Cobres Cerrillos prefiere tener dos proveedores de transportes para que exista competencia entre éstos, y así presten un mejor servicio al cliente.

Ambos proveedores cuentan con los mismos valores monetarios, estos se dividen en la cantidad de clientes a distribuir, y fuerza de radio urbano que son la Quinta y Sexta región.

³ Una regleta es un dispositivo eléctrico usado para conectar varios dispositivos eléctricos estándar de corriente alterna en un mismo enchufe eléctrico.

Tabla 1.1.2.1 - Tabla de costos transportes

Valores Vigentes Transportes			
		Camión 3.5 TM	Camión 10 TM
Radio Urbano	1 Destino	\$41,286	\$50,344
	2 Destinos	\$44,786	\$57,344
	3 Destinos	\$51,087	\$62,944
	4 Destinos	\$54,586	\$68,544
	5 Destinos	\$58,086	\$74,144
	6 Destinos	\$60,886	\$79,744
	Devolución	\$20,000	\$22,500
Fuera de Radio Urbano	1 Destino	\$45,066	\$62,252
	2 Destinos	\$48,566	\$68,044
	Devolución	\$22,500	\$25,000

Fuente: Cobres cerrillos

1.1.3 Los clientes

Hoy en día, existen 60 clientes (anexo 1) en Cobres Cerrillos, los cuales se pueden dividir en distintas categorías; entidades de energía pública, distribuidores y comerciantes de materiales eléctricos, firmas constructoras y de ingeniería, contratistas eléctricos o compañías industriales y *retail*.

Cobres Cerrillos tiene clientes que retiran productos del centro de distribución (CD), como también otros que se les debe despachar, todo esto dentro de la región metropolitana. Los clientes que se encuentran en regiones reciben los productos mediante el transporte que ellos han designado dentro de la región metropolitana.

⁴ Los pallets son una unidad de transporte utilizado por la empresa, se trata de una base de madera de 1 por 1,2 metros para apilar los productos.

Existen restricciones por parte de los clientes, tales como ventanas de tiempo, capacidad de toneladas a la hora de recibir productos y avisar con 24 horas con anterioridad al despacho, esto último para coordinar las grúas. Dentro de los clientes de *retail*, existe un cumplimiento del 90% como exigencia, y si éste no se cumple, a Cobres Cerrillos se le cobra una multa.

2. Planteamiento del problema

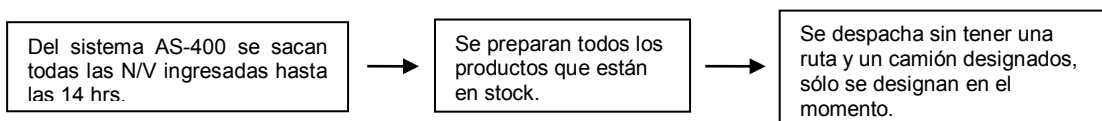
La problemática surge debido a la inexistencia de un modelo de planificación de ruteo con capacidad y ventanas de tiempo, de los despachos diarios.

En la actualidad, los líderes de celda generan de forma manual el ruteo de los camiones, en la cual sólo utilizan la experiencia en el tema. Como este es un proceso ambiguo, rutinariamente sólo verifican si una carga está preparada y la despachan, sin tener un control total de todos los despachos a realizar durante el día.

Esto atrae variados problemas en la distribución de los camiones, ya que constantemente se tiene que esperar a los camiones que vuelvan a la empresa para poder seguir despachando. Esto hace terminar los despachos muy tarde y peor aún, no se logra despachar la totalidad de los productos que los clientes han requerido. Un problema constante que también sucede con los camiones, es que hacen más de dos veces la misma ruta y no se utiliza la capacidad total de los camiones.

Con la existencia de un modelo de planificación de ruteo con capacidad y ventanas de tiempo se pueden lograr mejoras en los costos y en el nivel de servicio a entregar.

Figura 2.1- Diagrama de flujo del proceso actual de despacho.



3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un modelo de optimización para el ruteo con capacidad y ventanas de tiempo de los despachos diarios.

3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual del proceso e identificación de los puntos que generan el problema en los despachos.
- Estandarizar el proceso de despacho.
- Identificar las variables críticas y restricciones del problema.
- Formular un modelo que permita determinar el despacho óptimo.
- Validar el modelo de optimización.
- Analizar los impactos económicos asociados.

4. Marco Teórico

4.1 Logística

En la empresa, la función operativa que comprende todas las actividades y procesos necesarios para la administración estratégica lleva por nombre logística, para esto la logística comprende un conjunto de métodos y medios necesarios para llevar la organización de la empresa, en donde forma un sistema, el cual es el enlace de la producción y el mercado.

La logística tiene su comienzo, como bien dice el autor Benjamin S. Blanchard [3], *“En la concepción del programa, identificar por primera vez una necesidad del consumidor. Teniendo en cuenta la definición de la necesidad, es preciso: (a) identificar varias maneras de enfocar el diseño a nivel de sistema que nos permitan satisfacer los requisitos; (b) evaluar los candidatos más probables en términos de prestaciones, efectividad, coste de ciclo de vida y criterios relacionados; y (c) recomendar el procedimiento preferido. Puede que existan muchas alternativas; sin embargo, el número de posibilidades debe ser reducido a unas pocas opciones viables, de acuerdo con los recursos disponibles (humanos, materiales y financieros)”*.

La logística tiene como objetivo producir productos o servicios para estar en el lugar preciso, momento adecuado y en las condiciones deseadas. De esta manera, contribuir lo máximo posible a la rentabilidad de la empresa y satisfacer la necesidad de los consumidores. Para cumplir esto, la logística empresarial, por medio de la administración logística y de la cadena de suministro, debe cubrir la gestión y la planificación de las actividades de los departamentos de compras, producción, transporte, almacenaje, mantenimiento y distribución.

4.1.2 Componentes de la logística

4.1.2.1 Pronóstico de la demanda

Con el pronóstico de la demanda, se puede predecir y tomar decisiones fundamentales para la rentabilidad de las empresas, éstas pueden ser decisiones de planeación de la producción, definición de stock en bodegas, etc.

El economista Charles Chace [4] muestra que para tomar mejores decisiones, las empresas no sólo tienen que entender el pasado, también necesitan ver hacia el futuro, realizando pronósticos basados en la demanda con el fin de reducir los costos de inventarios, mejorar la cadena de suministro y generar crecimiento más rentable para todos sus productos.

4.1.2.2 Planeación de la producción

La planeación total de la producción tiene que ver con el establecimiento de las tasas de producción⁵ por grupo de productos u otras categorías amplias a mediano plazo (6 a 18 meses). Arnoletto Eduardo Jorge [5].

El principal propósito de la planeación de la producción, es especificar la combinación óptima de la tasa de producción del nivel de la fuerza laboral⁶ y del inventario disponible⁷.

⁵ La tasa de producción se refiere al número de unidades terminadas por unidad de tiempo (como por hora o por día).

⁶ Nivel de la fuerza laboral es el número de trabajadores necesario para la producción.

⁷ El inventario disponible es el saldo del inventario no utilizado traído desde el periodo anterior.

4.1.2.3 Almacenamiento de productos terminados

Para el almacenamiento de productos se debe tener en cuenta un conjunto de actividades de la distribución integrada, considerando los siguientes principios de almacenaje (Enrique Acuña ,2009):

- a) El almacenamiento NO es un sujeto aislado del los procesos ya que siempre tiene que estar incluido dentro de los sistemas. En consecuencia, se planifica acorde con las políticas estipuladas por la empresa.

- b) Las cantidades almacenadas están estipuladas por la demanda histórica y considerando que los costos que se originen sean mínimos; siempre que se mantengan los niveles de servicios deseados.

- c) Por último, el almacén es lo más flexible en cuanto a su estructura, de forma que este se adapta a las necesidades.

4.1.2.4 Sistema de gestión de bodega de productos terminados

El sistema de gestión de bodega, es aquel que determina los juicios a utilizar en el momento que el material ha de salir de bodega para atender una petición concreta. La importancia de este sistema radica en que incide directamente sobre el período de

permanencia de los productos en el almacén. El sistema más extendido es el FIFO⁸, el cual indica que el primer producto llegado al almacén, es el primero que sale. Existen otras reglas como el LIFO⁹ (último en entrar, último en salir), que se aplica en el área de alimentos, específicamente en frescos. Y por último, está el FEFO¹⁰ (primero en caducar, primero en salir), utilizado en las industrias de productos farmacéuticos. Dentro de COCESA, el sistema utilizado es el FIFO.

4.1.2.5 Funciones de la bodega de productos terminados

Las funciones que realiza una bodega de productos terminados, según el autor Hernández Muñoz Rafael [6] son las siguientes:

- a) Mantener las materias primas a cubierto de incendios, robos y deterioros.
- b) Permitir a las personas autorizadas el acceso a las materias almacenadas.
- c) Mantener informado constantemente al departamento de compras, sobre las existencias reales de materia prima.
- d) Llevar en forma minuciosa controles sobre las materias primas (entradas y salidas)
- e) Vigilar que no se agoten los materiales (máximos – mínimos).
- f) Minimizar costos logrando así dar mayor eficiencia a la empresa.
- g) Darle movimiento a los productos estacionados dentro del almacén, tanto de entrada como de salida.
- h) Valorizar, controlar y supervisar las operaciones internas de los movimientos físicos y administrativos.

⁸ **FIFO** es el acrónimo inglés de First In, First Out (primero en entrar, primero en salir).

⁹ El término LIFO es el acrónimo inglés de Last In First Out (último en entrar, primero en salir).

¹⁰ **FEFO**: First expired, first out, es decir: primero en caducar, primero en salir.

4.2 Ruteo vehicular (VRP)

El ruteo vehicular o Vehicle Routing Problem (VRP) pretende decidir cómo atender la demanda de los clientes con los medios de transportes existentes. Así lo demuestra el trabajo de Dantzig (1954) [12], quién en su formulación clásica, lo define como *“el problema de minimizar el costo de transporte de un conjunto de rutas que satisfaga las demandas de cada cliente, donde cada ruta debe comenzar y terminar en el depósito, y no se debe exceder la capacidad de los vehículos”*.

El ruteo vehicular es un problema esencial de la logística, y que deben enfrentar las empresas que realizan distribución, buscando siempre satisfacer la demanda de los clientes al mínimo costo y sujeto a restricciones. Estas restricciones limitan su implementación práctica en problemas reales de distribución, entre las que se puede mencionar:

- Los vehículos atienden desde una sola bodega.
- Los vehículos solo reparten o recolectan, pero no ambas a la vez.
- Los clientes son atendidos por un solo vehículo.
- El período de planificación dura solo un día.
- No se consideran ventanas de tiempo.
- Los tiempos de viaje son constantes y conocidos durante todo el período de planificación.

En las últimas décadas, se han estudiado una gran variedad de extensiones y variaciones que han incorporado nuevas restricciones, obviando algunos de los supuestos mencionados anteriormente y permitiendo así la mejor adaptación a las necesidades que la gestión logística va generando.

4.3 Ruteo vehicular con capacidad (capacidad VRP-CVRP)

El objetivo del ruteo vehicular con capacidad (VRP-CVRP), es reducir al mínimo la cantidad de vehículos a utilizar en el despacho, así como la suma del tiempo recorrido en realizar el reparto, además la demanda total de los productos para cada ruta no debe exceder la capacidad del vehículo de reparto. (Figliozzi, 2006) [9].

4.3.1 Definición del problema del Agente Viajero (Traveler Salesman Problem)

El problema del agente viajero (TSP) consiste en un conjunto de ciudades y un viajero, visitar todas las ciudades pasando por ellas sólo una vez, regresando al punto de origen en el menor tiempo posible [PAPADIMITRIOU, 1982].

El TSP dispone de un sólo vehículo, el cual debe visitar a todos los clientes en una sola ruta, minimizando los costos. En el TSP no suelen existir depósitos, ya que no hay una demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales, pues cada ruta debe comenzar y terminar en el mismo depósito.

4.4 Ruteo vehicular con ventanas de tiempo (VRPTW)

El ruteo vehicular con ventanas de tiempo, es el mismo ruteo vehicular pero se incorpora la restricción “ventanas de tiempo”. Este tipo de ruteo se asemeja más a la realidad de las empresas, ya que la planificación debe ser realizada de tal manera que debe asegurar que se satisfagan todas las restricciones de ventanas de tiempos. Es decir, la recolección y/o entrega de productos o servicios, debe realizarse dentro de la ventana horaria definida por los propios clientes.

Las decisiones de transporte asociadas a servicios o productos de alto valor del tiempo, resultan ser grandes exigencias sobre los servicios de transporte y por lo general requieren que el servicio se entregue dentro de una ventana de tiempo (Figliozzi, 2006) [9].

Las ventanas de tiempo, se dividen en dos: duras y suaves. Las ventanas de tiempos duras, el vehículo tiene que esperar si llega antes del comienzo de la ventana horaria, pero no puede llegar después de ésta. Sin embargo, en el caso de las ventana de tiempo suave, las restricciones de tiempo pueden ser infringidas pero esto significa a un costo económico de por medio.

Por lo tanto, la mayor parte del esfuerzo de programación se ha dirigido al problema operacional para determinar el mejor conjunto de rutas y horarios. En presencia de ventanas de tiempo, los costos totales de ruteo no sólo incluyen el total de distancia y tiempo de viajes, sino también el costo del tiempo de espera en que se incurre cuando un vehículo llega antes a un cliente (o carga y/o descarga) (Solomon y Desrosiers, 1988) [10].

4.4.1 El Problema de Ruteo de Vehículos con Tiempos de Viaje Dependientes del Tiempo (TDVRP)

A raíz de lo mencionado anteriormente, es necesario analizar distintos casos de VRPTW, donde se describen los trabajos de Malandraki y Daskin (1992)[14] y Ichoua (2003)[15].

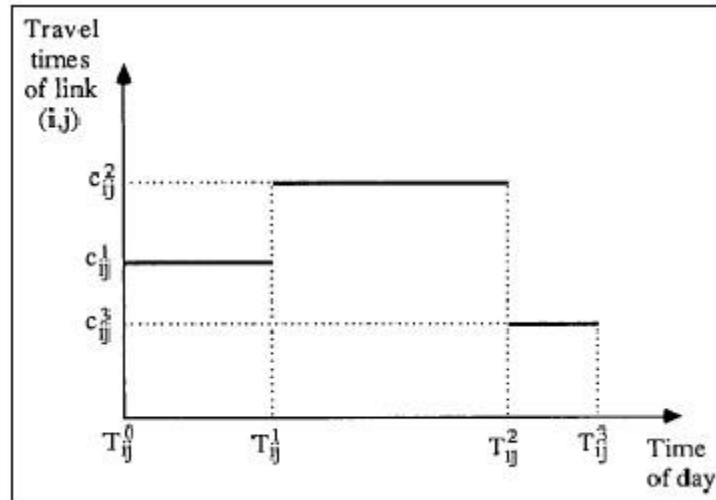
a) Malandraki y Daskin (1992) [14].

En este artículo, los autores definen el TDVRP como *“Una flota de vehículos de capacidad fija sólo sirven clientes de demandas fijas desde una bodega central. Los clientes son asignados a los vehículos y estos son ruteados de tal forma que el tiempo total de las rutas sea el mínimo. El tiempo de viaje entre dos clientes o entre un cliente y la bodega depende de la distancia entre los puntos y la hora del día”*.

En el TDVRP se exhibe una formulación de programación lineal, en donde se asume una red completa y una matriz determinante en el tiempo. Aquí, el tiempo de viaje entre un nodo i y un nodo j depende del tiempo en que el vehículo parte desde i . Por ende, los tiempos de viaje son asimétricos y el tiempo de viaje entre el nodo i y el nodo j puede ser distinto que aquel entre el nodo j y el i .

Cada arco (i,j) es reemplazado por $ij M$ arcos paralelos desde i a j , donde $ij M$ es el número de intervalos de tiempo distintos considerados en una función de tipo *step* que representa los tiempos de viaje para el arco. El número $ij M$ puede diferir entre un arco y otro.

Figura 4.4.1.1- Representa los tiempos de viaje en un arco considerando $ij M = 3$.



Fuente: Malandraki y Daskin (1992)

En la formulación, se minimizan los tiempos totales en ruta, que incluyen tiempos de viaje, de atención, y tiempos de espera en los nodos. En cuanto a las restricciones, además de las tradicionales de capacidad y flujos, se incluyen: (i) ventanas de tiempo duras; (ii) restricciones que aseguran el uso del correcto arco paralelo; y (iii) posibilidad de esperar de los vehículos para salir desde los nodos.

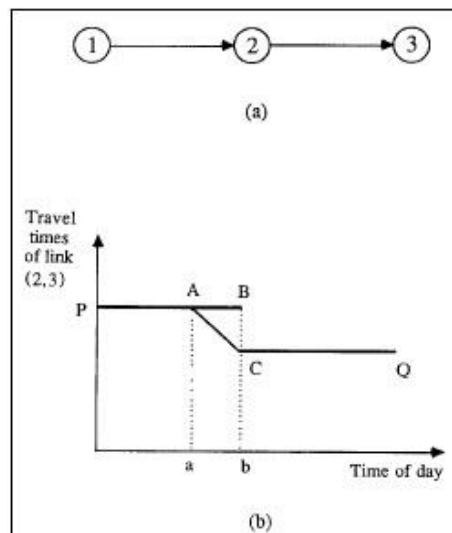
Este tiempo es determinado por la minimización, permitiendo que los vehículos salgan en instantes de tiempos distintos. Otras restricciones aseguran que el arco paralelo apropiado entre i y j se elige a partir del tiempo de salida desde el nodo i . Específicamente, en el caso del nodo “bodega”, el tiempo de partida se considera variable y como parte de la función de minimización, y con esto se asegura que el tiempo de partida sea óptimo.

En la realidad, los tiempos de viaje cambian continuamente en función del tiempo y no en saltos discretos. Cuando se permiten tiempos de espera en los nodos, y cuando el

tiempo de viaje en el intervalo $m+1$ es menor que en el tiempo m , la función usada anteriormente se comporta como una función por partes.

Para ilustrar esto, se puede considerar el siguiente ejemplo, en donde en 2.3(a), se busca el camino mínimo entre el nodo 1 y el nodo 3. La figura 2.3 (b) entrega el tiempo de viaje del arco (2,3).

Figura 4.4.1.2 - (a) Ejemplo de Red. (b) Función *step* de Tiempos de Viaje.



Fuente: Malandraki y Daskin (1992)

En tanto, se puede decir que si hay un vehículo en tiempo t_2 , tal que $a < t_2 < b$, es conveniente que espere y parta en el tiempo b . Así, el tiempo de viaje efectivo estará dado por una función continua por partes (*piecewise*) P-A-C-Q en vez de la función escalón (*stepwise*) P-B, C-Q. Cuando el tiempo de viaje en $m+1$ es mayor que en m , la función se mantiene discontinua, por lo tanto no se cumple con la condición de FIFO.

La problemática planteada por Malandraki y Daskin (1992) [14], considera diversos elementos del problema que la presente investigación aborda, pero aun así no toma la

existencia de congestión no recurrente y la posibilidad de integración de nuevos clientes a lo largo del periodo de ejecución de las rutas, y más aun las heurísticas no consideran las ventanas de tiempo en la atención al cliente.

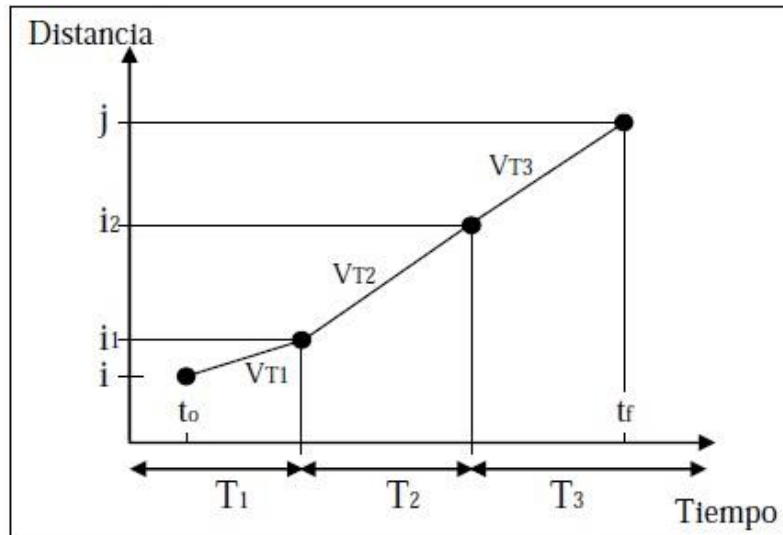
b) Ichoua (2003)[15]

Este autor indica que el problema consiste en atender a clientes de demandas fijas dentro de un espacio de tiempo fraccionado en varios intervalos de tiempos. Para esto, se considera una flota de vehículos semejantes con capacidad fija, en donde se tiene una matriz dependiente del tiempo, que cuentan los viajes entre cada par (i,j) . Esto se cumple cuando el vehículo parte desde i dentro de un determinado intervalo de tiempo, logrando así minimizar el costo total de las rutas, que incluye la tardanza total sobre todos los clientes y a los tiempos totales de viaje.

En este caso, se trabajó con velocidades dependientes del tiempo, concordando la velocidad cuando el vehículo cruzara el límite entre dos intervalos, ya que inicialmente se propuso una función de tipo escalón para los tiempos de viaje, pero no cumplió con FIFO. Aquí, las velocidades de viajes eran registradas ordenadamente según período de tiempo y arco, reduciendo el tiempo computacional, pero aumentando el costo de almacenamiento. Para limitar el número de valores para las velocidades a estimar, el conjunto de arcos fue dividido en distintas categorías, con lo que la velocidad de viaje durante un período en un arco (i,j) que pertenece a una categoría, es igual a la velocidad asociada a esa categoría en ese período de tiempo.

Es por ello, que se consideró que las velocidades cambian al cruzar el límite entre dos periodos, en donde para cada uno de los intervalos definidos existe una velocidad de viaje distinta.

Figura 4.4.1.3 - Cambio en velocidad de viaje durante el tiempo para un arco dado.



Fuente: Adaptado de Ichoua (2003)

La función de tiempos de viaje pasó a ser una función continua por tramos. Estas funciones, hacen que la propiedad FIFO se cumpla. Además, resulta conveniente seguir acercándose al destino, sin importar cómo cambien las velocidades más adelante, ya que no existe estímulo para que los vehículos esperen por abandonar un origen.

A raíz de lo planteado anteriormente, el algoritmo de solución para el problema de Cobres Cerrillos es el utilizado por Ichoua (2000) [15], ya que éste se basa en intercambios de tipo *CROSS*¹¹ en donde se indica que los procesos deben estar en paralelo, lo cual resulta clave a la hora de acelerar los cómputos.

¹¹ Intercambio de los términos de dos rutas: la primera parte de una ruta A es conectada con el final de la ruta y la primera de B con el final de A.

4.4.2 El problema de ruteo de vehículos con información en tiempo real

Una de las variantes del VRP y del VRPTW es el VRP con información en tiempo real (*Vehicle Routing Problem* (RT-VRP), y el RT-VRPTW). Con estos problemas de ruteo se puede responder a requerimientos por el servicio en tiempo real (cambio de la demanda) y/o cambios en los tiempos de viaje en la red (cambios de la oferta).

En el RT-TDVRP, la información puede cambiar después de que las rutas iniciales hayan sido construidas, incluyendo la demanda y tiempos de viaje dependientes del tiempo. En el caso del RT-VRP, el planificador puede no conocer toda la información al momento de que el proceso de ruteo comienza. Si sucede un accidente, es común que los tiempos de viajes cambien, por lo tanto, los clientes entrantes asignados deben ser reasignados basándose en la posición y carga de los vehículos en ruta.

Cuando un nuevo cliente aparece, lo primero que se realiza en el centro de despacho es incorporarlo en el programa de rutas. Lo que se quiere decir con lo planteado anteriormente, es que el centro de distribución debe entregar una respuesta rápida en tiempo real a las nuevas condiciones de operación.

Existen variados artículos que estudian el RT-VRP. Por ejemplo, Regan (1996) [16] quien desarrolla una técnica para la toma de decisiones dinámica de una flota comercial de despacho que usa información en tiempo real. Destaca los despachos en tiempo real y la aceptación de cargas, y desarrolla un marco de simulación para evaluar el funcionamiento de la misma.

Otro ejemplo son Durbin y Hoffman (2008) [17], ellos estudian el problema de reparto de cemento que incluye ventanas de tiempo y múltiples depósitos, incluyendo demandas que aparecen en tiempo real. El principal aporte que los autores dan, está en el desarrollo de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones frente a problemas inesperados, cómo decidir si se despacha a un cliente o no, si una orden debe ser aceptada, etc.

Frente a estos problemas Ichoua (2006) desarrolla una metodología para anticipar la localización de posibles clientes que aparezcan en tiempo real, y Cortés (2008) incorpora técnicas de control para identificar los incidentes que se producen en la red para un problema de *pick-up and delivery* con flota fija.

Existen artículos en donde se desarrollan heurísticas que le dan solución a este tipo de problemas, como son los trabajos de Ichoua (2003) [15], Haghani y Jung (2005) [18].

a) Ichoua (2003) [15]

Esta heurística surge como una extensión dentro del artículo al problema discutido en la sección 5.3.1, incluyendo tiempos de viajes dependientes del tiempo, que cumplen con FIFO, y ventanas de tiempo.

Los sucesos pueden ser de dos tipos:

1. La llegada de una nueva orden.
2. El término de entrega al cliente.

Estos puntos tienen directa relación con el conductor del vehículo, ya que éste siempre deberá informar el término del servicio, por lo tanto no siempre sabrá cuál es su próximo destino dentro de su ruta. Ante la ocurrencia de alguno de estos eventos, la Búsqueda Tabú es usada para mejorar la solución actual.

Una nueva incorporación que se realizó al problema, es que si existiera flexibilidad de tiempo en el próximo destino, el vehículo puede esperar en el origen ya que existe la posibilidad de la aparición de un posible cliente en la posición actual.

Esta investigación, no considera que los tiempos de viaje puedan variar por incidentes. Además, la categorización de arcos, explicada en la sección 5.3.1 parte b, no debiera ser la manera más adecuada de tratar los tiempos de viaje dependientes del tiempo. Por último, no existe una implementación sobre una red real.

b) Haghani y Jung (2005) [18]

En este artículo, los autores presentan un problema de ruteo dinámico con ventanas de tiempo suave, en donde existe un control vehicular en tiempo real, tiempo de viajes dependientes del tiempo, y un algoritmo genérico para resolver.

La problemática considera variaciones y órdenes de los tiempos de viaje entre dos nodos, los cuales tienen la posibilidad de aparecer en cualquier instante a lo largo del periodo de planificación. A pesar de lo anteriormente planteado, los pedidos de los clientes

que aparecen después de cierto instante, no son considerados para el mismo periodo y deben esperar el comienzo del siguiente.

Las rutas se actualizan cada cierto periodo de tiempo fijo en donde se utiliza el concepto de nodo crítico. Esto quiere decir que se incluyen todas las variaciones de tiempo y demanda no considerada hasta ese momento, siendo sólo los nodos de clientes los candidatos a serlo. Este problema es formulado como una programación lineal entera mixta, donde se minimiza el costo total, compuesto por: (i) costos fijos por uso de vehículos; (ii) costos de ruteo; (iii) costos por esperas para comenzar la atención; y (iv) penalidades por atrasos en la atención de los clientes.

En un principio, los autores compararon los algoritmos genéricos con soluciones exactas y con procedimientos de búsqueda de cotas inferiores de un problema con demanda estática y tiempos de viajes dependientes del tiempo. Con este tipo de algoritmo genérico solo se logró solucionar problemas de 30 nodos y 30 intervalos.

Luego, los autores consideraron una demanda en tiempo real, creando una red ficticia para comparar los resultados en un ambiente con mayor dinamismo. Se consideraron hasta 50 demandas estáticas y cada hora la aparición de 10 dinámicas. Definieron doce casos de evaluación que se diferenciaron por el porcentaje de arcos afectados por un incidente y por la variación en los tiempos de viaje producida por éste.

Este problema deja como principal conclusión que una estrategia de solución dinámica mejora a medida que el sistema crece en su dinamismo.

4.5 Modelos Algorítmicos

Varios problemas se han planteado, y el que interesa resolver en esta investigación es uno de los llamados de ruteo vehicular con ventanas de tiempo (VRPTW) con información en tiempo real.

De este tipo de problemas, se puede proponer diferentes métodos de solución, los cuales se pueden agrupar en exactos y aproximados. Varias propuestas de algoritmos exactos son apropiadas en problemas pequeños de hasta 50 clientes aproximadamente (Enrique Alba y Bernabé Dorronsoro) [21], pero dado el alto costo computacional no son adecuadas para problemas mayores, por lo tanto, para tales efectos de esta investigación se usarán algoritmos aproximados, los que a su vez se clasifican en heurísticas y metaheurísticas (Alfredo Olivera) [22]:

- **Heurísticas**

Dentro de los algoritmos aproximados se encuentran las heurísticas, éstas consisten en la realización de procedimientos simples, dando una solución muy cercana al óptimo deseado, a través de una exploración limitada del espacio solución.

Estas soluciones tienen una complejidad algorítmica baja, pero existen métodos de mejoras que aumentan la complejidad algorítmica, estos son:

- a) Algoritmos constructivos: consiste en construir una ruta de forma secuencial, por ejemplo los de inserción y ahorro.

- b) Algoritmo de búsqueda local: estos son métodos de mejora iterativa donde definen una solución inicial o semilla, y una estructura de vecindario; se exploran los vecindarios evaluando su contribución a la función objetivo.
- c) Algoritmos de dos fases: el cual consiste que primero se realizan un agrupamiento para después aplicar otro método para la asignación de las rutas a los vehículos.

Todas estas mejoras son computacionales, por lo cual tienen un costo mayor.

- **Metaheurísticas**

Son procedimientos complejos que emplean heurísticas de mejora y búsqueda local; tienen un costo computacional más elevado pero exploran el espacio de solución de una manera más amplia que los algoritmos heurísticos.

- a) Algoritmos de enjambre: son métodos inspirados en el comportamiento de colonias de insectos como hormigas, abejas y termitas.
- b) Algoritmos evolutivos: imitan el proceso de la evolución natural en el que sobreviven los individuos con mayor capacidad de adaptación, mientras que los más débiles tienden a extinguirse.
- c) Sistemas inmunes artificiales: se inspiran en los sistemas inmunes naturales aprovechando la habilidad de estos sistemas para determinar patrones que les permiten distinguir la presencia de cuerpos extraños o antígenos de células del cuerpo, y memorizar la estructura de éstos para una rápida respuesta futura.

Tabla 4.5.1 - Cuadro comparativo de Modelo a utilizar

Modelo Algorítmico aproximado	Complejidad algorítmica	Tipos de Complejidad	Modelo a Utilizar
Heurísticas	Baja	<p>1 Algoritmos constructivos, consisten en construir una ruta de forma secuencial.</p> <p>2 Algoritmos de búsqueda local, estos métodos de mejora iterativa donde definen una solución inicial y una estructura de vecindario.</p> <p>3 Algoritmos de dos fases, el cual consiste que primero se realizan un agrupamiento para después aplicar otro método para la asignación de ruta.</p>	
Metaheurística	Alta	<p>1 Algoritmos de enjambre, son métodos inspirados en el comportamiento colonial se insectos.</p> <p>2 Algoritmos evolutivos, imitan al proceso de evolución natural en el que sobreviven los individuos con mayor capacidad de adaptación.</p> <p>3 Sistema inmunes artificiales, se inspiran en los sistemas inmunes naturales aprovechando la habilidad de estos sistema para determinar patrones que les permiten distinguir la presencia de cuerpos extraños y memoriza la estructura de éstos para una rápida respuesta.</p>	Para efecto de la solución al problema planteado en esta investigación, utilizaré un modelo de algoritmos Metaheurísticos ya que son estrategias que con pocos cambios pueden ser aplicables a una amplia variedad de problemas de optimización dando soluciones de alta calidad subordinando heurísticas constructivas y/o búsqueda local

Fuente: Libro de Alfredo Olivera [22]

5. Modelo

La empresa Cobres Cerrillos dispone de M camiones, donde la capacidad del camión k es V_k . Diariamente se tiene N clientes distintos para despacho. La carga a transportar del cliente i es R_i .

Los camiones deben visitar al cliente i más cercano, y si sobra capacidad del camión k , irá al siguiente cliente j más cercano. El mismo camión puede hacer varios despachos en el día. Por contrato, los camiones sólo pueden ir cargados con un máximo de 6 clientes.

Por último, debe considerarse que si un cliente tiene ventana horaria T , y el camión k tiene capacidad V_k , se puede despachar en el mismo camión, siempre que se cumpla con la ventana horaria propuesta por el cliente. Siendo el tiempo de i a j t_{ij} , tiempo de descarga S_i y el periodo de tiempo disponible $d_0^k - r_0^k$.

Conjunto de Índices

N Conjunto de Clientes

M Conjunto de Camiones

i = Índice correspondiente a los clientes $i \in N = \{1,2,3,\dots,n\}$

k = Índice correspondiente a los camiones $k \in M = \{1,2,3,\dots,m\}$

Parámetros

V_k = Capacidad del camión k ; $k \in M$

R_{ji} = demanda del cliente i ; $i \in N$

S_i = tiempo de descarga; $i \in N$

C_{ij} = costo unitario de transporte de i a j ; $i, j \in N$

C_k = costo fijo por uso del camión k ; $k \in M$

Variables de decisión:

$$X_{ijk} \begin{cases} 1 & \text{si el camión } k \text{ visita a } j \text{ despues de } i. \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

t_{ij} = tiempo de ir desde el cliente i al cliente j ; $i, j \in N$

$d_0^k - r_0^k$ = periodo de tiempo disponible.

Función objetivo (minimizar costos):

$$\text{Min} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n C_{ij} \sum_{k=1}^m X_{ijk}$$

Restricciones:

1. Atender a los clientes por un único camión:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m X_{ijk} = 1, \quad j = 1, \dots, n$$

Donde $X_{ijk} = 1$, si el vehículo k visita j después de i .

2. Capacidad de los camiones:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} * X_{ijk} \leq V_k, \quad \forall k$$

Donde R_{ij} es la demanda del cliente i , y V_k es la capacidad del camión k .

3. Igualdad:

$$\sum_{i=1}^n X_{ijk} - \sum_{i=0}^n X_{jik} = 0, \quad \forall j, \forall k$$

4. Capacidad máxima de clientes por camión:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^n X_{jik} \leq 6, \quad \forall k = 1, \dots, m$$

5. Periodo de tiempo:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij} * X_{ijk} + \sum_{i=0}^n S_i \sum_{j=0}^n X_{ijk} \leq d_0^k - r_0^k, \quad \forall k = 1, \dots, m$$

Donde t_{ij} es el tiempo de ir desde el cliente i al cliente j , S_i es el tiempo de descarga, y $d_0^k - r_0^k$ es el periodo de tiempo disponible.

6. Ir desde el origen a un destino

$$\sum_{i=1}^n X_{0jk} \leq 1, \quad \forall k = 1, \dots, m$$

7. Sub-tour, obliga a tener un solo arco de posibilidades:

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \sum_{k=1}^m X_{ijk} \leq |S| - 1, 2 \leq |S| \leq N - 2$$

6. Software

6.1 Introducción a las aplicaciones web

Hoy en día, existen variadas formas de construir páginas web gracias a los variados soportes que se han desarrollado, convirtiéndose en el pilar fundamental para hacer efectiva la comunicación entre el usuario y la información. [24] Estas aplicaciones web, involucran decisiones no triviales de diseño e implementación que inevitablemente influyen en todo el proceso de desarrollo, afectando la división de tareas. Los problemas involucrados, como el diseño del modelo del dominio y la construcción de la interfaz de usuario, tienen requerimientos disjuntos que deben ser tratados por separado.

En la actualidad, existen tecnologías ampliamente usadas para el desarrollo de las aplicaciones web, la elección de tecnologías complejas demora el proceso de desarrollo e incrementa los costos de mantención y realización de páginas web. El tiempo del desarrollo en la actualidad es crítico, tanto por razones de operaciones como por límites en los recursos y presupuesto.

[27] Disponer de una aplicación web y tener presencia en Internet es un factor muy importante, ya que se amplían las perspectivas de mercado, se mejora el servicio y la información al cliente. Además, se disminuyen los costos operativos y se facilita la búsqueda de productos, etc. Cada día, particulares y empresas publican nuevos sitios y aplicaciones en internet ofreciendo una amplia variedad de productos, información y servicios.

Además de construir una aplicación web para determinar los objetivos de la empresa en temas de marketing, existen factores como estructura, selección de contenidos, y creación de procesos con interactividad entre los usuarios, los cuales son de vital importancia para generar un tráfico fluido y aportando a un sitio de referencia mejorando los procesos.

6.1.1 Interfaz

[27] La interfaz es un factor importante en la elaboración de una aplicación. La gestión de contenidos, la presentación de la información, los mensajes a transmitir a los clientes y la distribución e intercambio de información con los usuarios para obtener una aplicación web que sea eficaz como canal de comunicación, es fundamental para conseguir una fidelidad y un contacto fluido y directo con los futuros usuarios y clientes. El propósito es conseguir la unión entre el diseño y contenido, aumentando la eficacia de la aplicación web.

6.1.2 Servidores

Los servidores web se dedican a alojar sitios y/o aplicaciones, los cuales se pueden acceder utilizando un navegador que se comunica con el servidor utilizando protocolo HTTP (Hypertext markup language).

Los servidores tienen un intérprete en los lenguajes de programación que ejecutan códigos dentro del HTML¹² de las páginas que contiene el sitio antes de enviar el resultado al cliente. Este utiliza lenguaje como ASP, PHP, Perl y Ajax. Las ventajas de estos lenguajes radica en la ejecución de tareas complejas como por ejemplo acceder a bases de datos

¹² HTML. Hyper Text Language : Lenguaje de Marcas de Hipertexto.

abstrayendo al usuario de toda operación. Uno de los lenguajes más amigables para el programador es el PHP, ya que utiliza bases de datos MySQL.

6.1.3 PHP

La infraestructura de la www (World Wide Web) no tan sólo sirve para ofrecer documentos estáticos, hoy en día también existen multitud de tecnologías y soluciones que facilitan la creación de contenidos dinámicos y procesos de información. Una de esas soluciones, posiblemente la más extendida y amigable actualmente, es el lenguaje PHP¹³. Mediante este lenguaje es posible desarrollar aplicaciones Web completas, cuya interfaz de usuario es accesible desde cualquier servidor Web.

6.1.3.1 ¿Qué es PHP?

[28] PHP es un lenguaje de scripting que permite la generación de dinámicas de contenidos en un servidor web. Su nombre oficial es PHP: HyperText Preprocessor. Entre sus principales características se pueden destacar su potencia, alto rendimiento y su facilidad de aprendizaje. PHP es una eficaz herramienta de desarrollo para los programadores web, ya que proporciona elementos que permiten generar de manera rápida y sencilla sitios web dinámicos.

El código PHP es un lenguaje para la creación de sitios web del que se pueden destacar las siguientes características:

- Integración con varias bibliotecas de datos externas, que permite generar desde documentos en PDF (documentos de Acrobat Reader) hasta analizar códigos XML.

¹³ PHP (acrónimo de PHP: Hypertext Preprocessor), Procesador de Hipertexto.

- Tiene un soporte para una gran cantidad de bases de datos: MySQL, Sybase mSQL, etc.
- Fácil programación ofreciendo soluciones simples y universales para las páginas Web.
- En comparación a los otros lenguajes, es el más fácil de mantener y poner al día.

6.1.3.2 Ventajas de PHP

- Es un lenguaje multiplataforma.
- Completamente orientado a la Web
- Capacidad de conexión con la mayoría de los motores de base de datos conocidos actualmente, destaca su conectividad con MySQL.
- Posee una amplia documentación en su página oficial, en la cual se destaca que todas las funciones del sistema están explicadas y ejemplificadas en un único archivo de ayuda.
- Es libre, quiere decir que es una alternativa de fácil acceso para todos.
- Permite técnicas de programación orientadas a objetos.
- No requiere definición de variables.
- PHP está completamente escrito en lenguaje C, así que se ejecuta rápidamente utilizando poca memoria.

6.1.3.3 Desventajas de PHP

- No se pueden ocultar las fuentes.
- El manejo de errores no es tan sofisticado como otros lenguajes (Cold Fusion o ASP)

6.2 Creación de aplicaciones web con PHP

[28] En su forma más simple, una aplicación web se compone normalmente de múltiples ficheros en los que se utilizan las tecnologías PHP sobre un servidor LAMP (Linux, Apache, MySQL). PHP es un medio potente para llevar a cabo las funciones de la aplicación web por medio de scripts que se ejecutan en el servidor mientras que MySQL se usa para almacenar la información en una base de datos.

6.3 MySQL

Tiene la característica de ser un sistema de gestión con bases de datos, multiusuario y multiplataforma con millones de instalaciones a nivel mundial. Es el más utilizado para la creación de páginas web, gracias a la gran cantidad de plataformas soportadas y su versatilidad.

En la actualidad es un proyecto desarrollarlo como software libre bajo un esquema de licenciamiento dual. Esto quiere decir que el uso local puede ser libre, pero cuando se desea aplicar con fines de lucro se debe de adquirir una licencia con la empresa propietaria.

6.3.1 Ventajas MySQL

- Múltiples motores de almacenamiento (MyISAM, Merge, InnoDB, BDB, etc.), permitiendo al usuario escoger la que más se adecue para cada tabla de base de datos.
- Permite la agrupación de transacciones, para incrementar el número de éstas por segundo.
- Está desarrollado en su base con lenguaje C y C++, lo que lo vuelve altamente estable.

6.3.2 Desventajas de MySQL

- No cuenta con un soporte automático para replicar de variados maestros.
- No posee vistas materializadas, pero se puede simular mediante los procedimientos de almacenado y disparadores.

6.4 Diseño y construcción del Sistema

Dentro de las metodologías existentes para llevar a cabo la construcción del sistema, las ideas fundamentales que se plantean consisten en utilizar diagramación y herramientas que no presenten traslapo, así evitando la redundancia y dividiendo el problema, a fin de poder abordar su complejidad.

De esta metodología se pueden rescatar variadas ventajas, las cuales se fundamentan en:

- Lograr un buen desarrollo del sistema
- Representar el diseño del sistema en base a la diagramación, lo cual permite la síntesis de la información, claridad, continuidad y desglose de ésta.
- Dar mantenimiento, así, como conocer de forma clara como funciona el sistema.
- Permitir la localización de errores rápidamente.
- Proporcionar la visualización de las posibles modificaciones.
- Poseer una mejor y clara documentación del sistema informático.

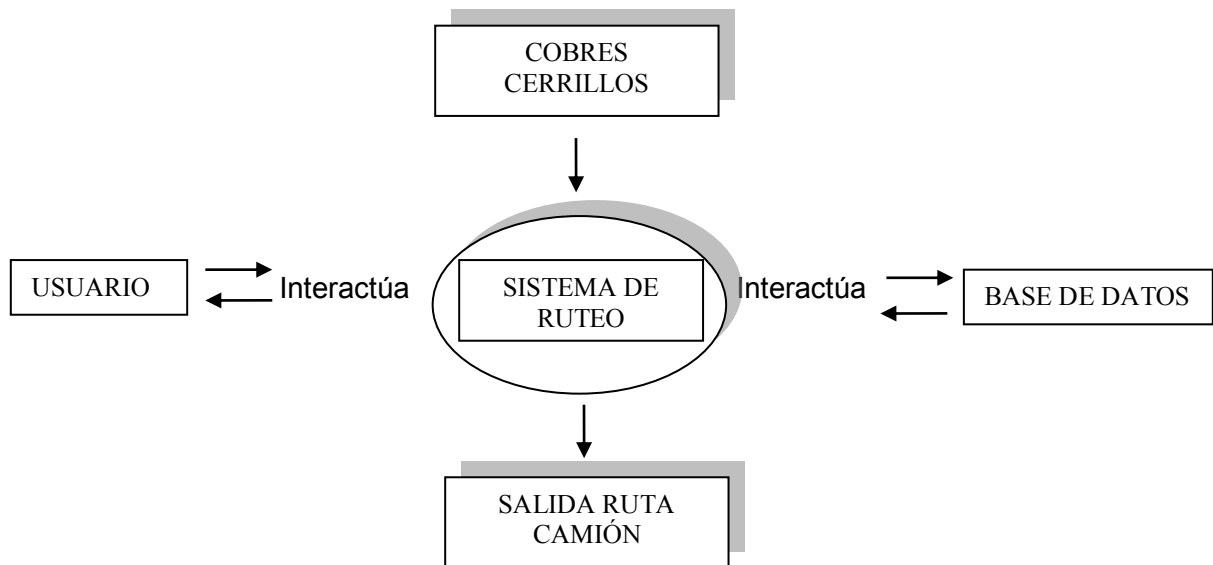
Al utilizar la metodología de Yourdon/De Marco, debemos tener en cuenta tres herramientas básicas:

- Diagrama de Flujo de Datos (DFD): los diagramas muestran como se llevan a cabo cada una de las actividades del un proceso, nos permitirán alinear las especificaciones del sistema, así la posterior mantención y documentación de éste.
- Diccionario de datos (DD): permite obtener fácilmente la información de la base de datos como son las tablas, vistas, procedimientos almacenados, etc.
- Diagrama de Procesos (DP): se tiene la posibilidad de reunir con precisión los componentes del sistema, los cuales permiten acelerar el trabajo y aumentar la calidad de los resultados.

6.4.1 Diagrama del Proceso

Aquí se muestra cómo se conectan los sistemas de todas las áreas y las descripciones de cada una de ellas.

Figura 6.4.1.1 - Diagrama del Proceso Software

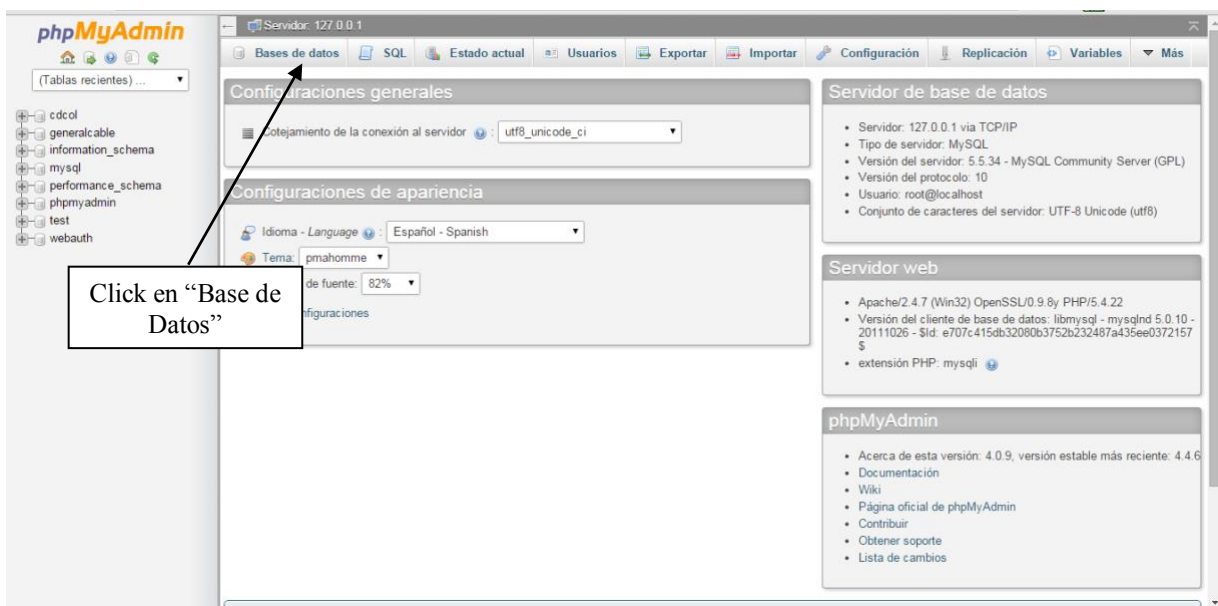


La figura muestra el panorama general de las entidades que están involucradas en el proceso, así como el flujo de información, lo cual nos dice que el sistema de ruteo recibirá datos pedidos de la empresa Cobre Cerrillos, y emitirá resultados de ruteo.

6.4.2 Creación de la Base de datos

La primera actividad a realizar es la creación de una base de datos. Para comenzar se hará uso de la herramienta phpMyAdmin, accediendo a <http://localhost/phpmyadmin>, como se muestra en la Figura 6.4.2.1

Figura 6.4.1.2 - Ingreso a phpMyAdmin



Fuente: phpMyAdmin

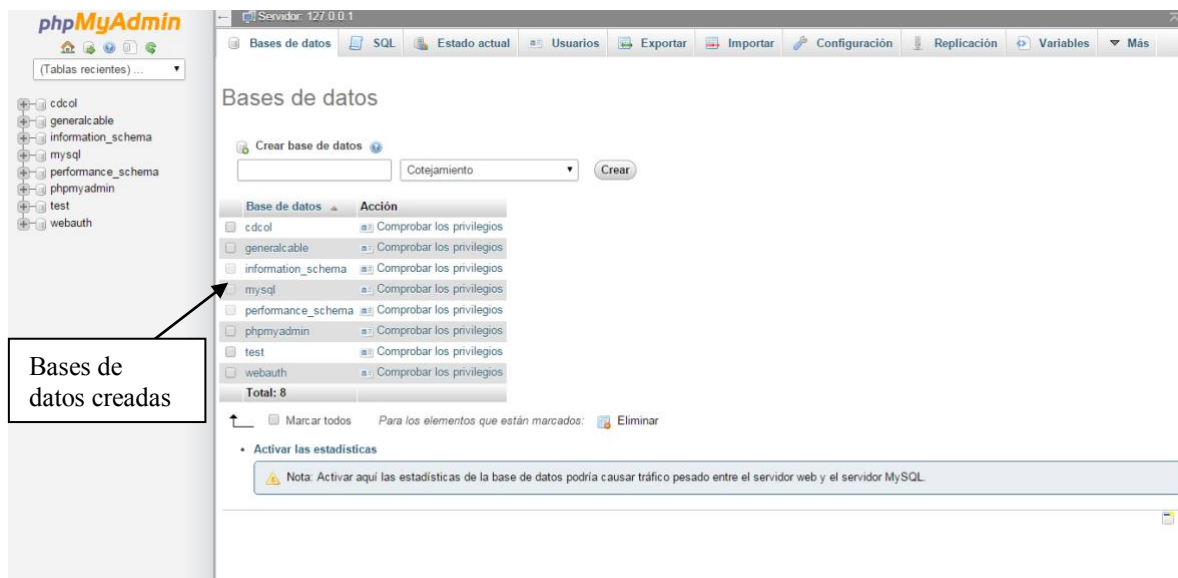
En método gráfico se crea una Base de datos y basándose en la interfaz de phpMyAdmin, se comienza dando click en botón “Base de Datos”.

Mediante líneas de comando (símbolo del sistema), el proceso en Sistema Operativo Windows es:

- Entrar a la ruta donde se tiene el ejecutable “MySQL.exe”, en este caso:
C:\xamppDev\mysql\bin
- Conectarse al servidor donde se va a crear la base de datos, con la siguiente instrucción: `mysql-hlocalhost-u root-ppassword_de_root`
- Ya en el prompt de MySQL, se procede a enviar la sentencia para crear una base de datos: `mysql>CREATE satabase Nombre_BaseDatos.`
- Ahora que ya está creada, entrar a ella: `Mysql> USE Nombre_BaseDatos`
- Para crear tablas para guardar toda la información, es: `mysql>CREATE TABLE NOmbreTabla(campo1 TIPO_CAMPO1(# Caracteres), campo2 TIPO_CAMPO2(# Caracteres), campo3 TIPO_CAMPO3(# Caracteres));`

Este tipo de instrucciones se utilizan las veces que sea necesario para crear una tabla que forma la base de datos así como los campos que contiene, hasta incluir todas las tablas que se utilizan, tal como muestra la Figura 6.4.2.2.

Figura 6.4.2.2 - Bases de datos Creadas

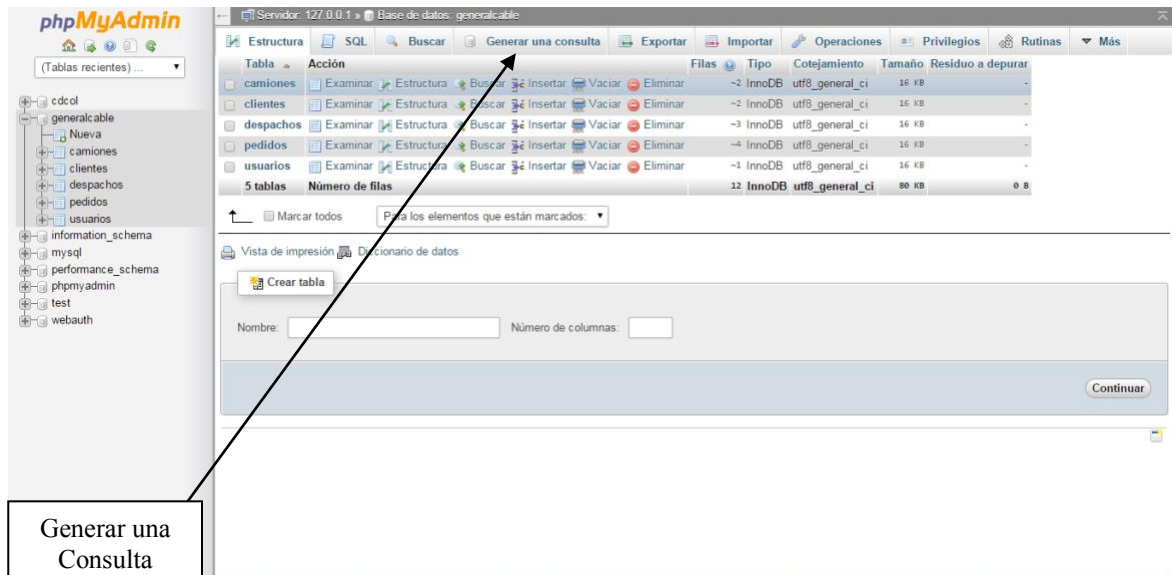


Fuente: phpMyAdmin

6.4.3 Creación de Consultas

Son las principales acciones a realizar con el manejador de bases de datos. La función de éstas, van encaminadas a obtener la información en la forma y sección que se indique. El modo gráfico, se puede hacer accediendo a la ubicación de PhpMyAdmin, luego se selecciona base de datos, se presiona el botón “Generar una Consulta” como se muestra en la figura 6.4.3.1, y finalmente se llena la información necesaria presionando el botón “Mostrar la consulta” en donde se despliega el código en la parte inferior:

Figura 6.4.3.1 Creación una Consulta



Fuente: phpMyAdmin

Dentro de las consultas que posee el sistema son:

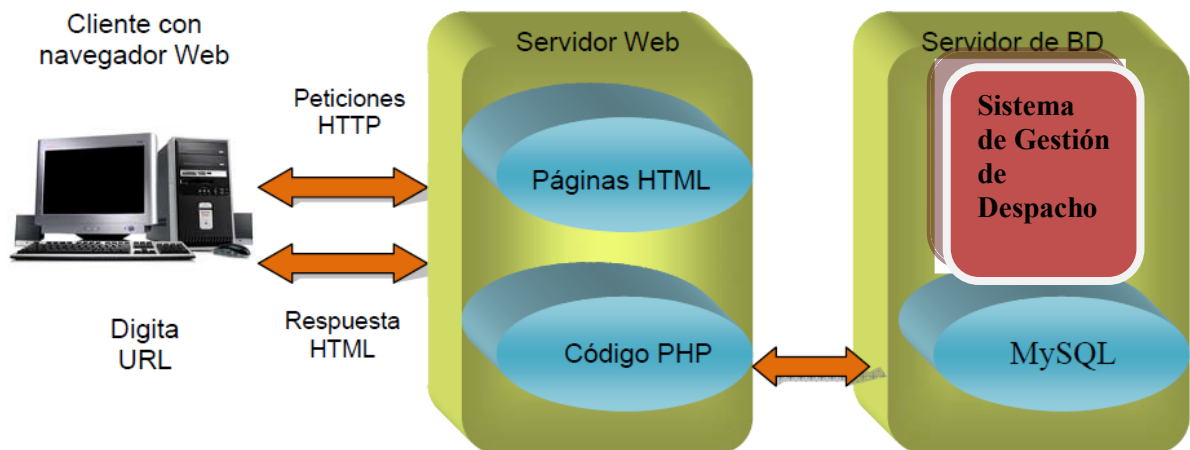
- Camiones
- Clientes
- Despachos
- Pedidos
- Usuarios

6.4.4 Diseño general del sistema

Un sitio web consiste en una aplicación de tres capas lógicas, las cuales se distribuyen de la siguiente forma; una capa de presentación o de interfaz de usuario, una capa de procesamiento para la recuperación de información registrada en la base de datos y el mantenimiento del sitio, y por último una capa de datos.

El proceso es el siguiente: el servidor de aplicación procesa las peticiones de los clientes de Internet devolviendo páginas HTML y/o se encarga, mediante las aplicaciones PHP, de pasar dichas peticiones al servidor de base de datos MySQL que procesa los resultados y construye las páginas HTML dinámicas, que finalmente devuelve al usuario, como se observa en la figura 6.4.4.1

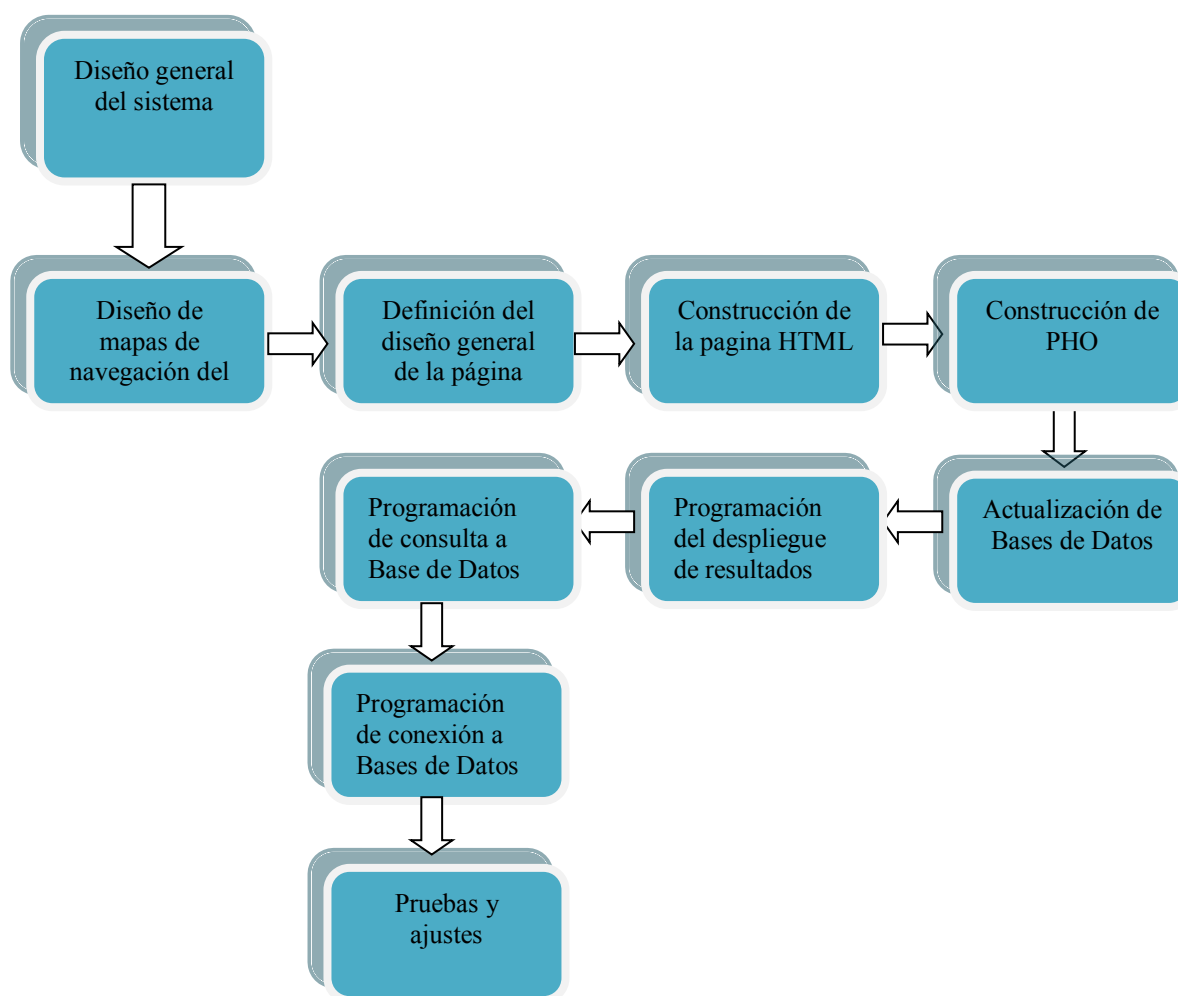
Figura 6.4.4.1 Diseño General del Sistema



6.5 Pasos de la construcción de la página web

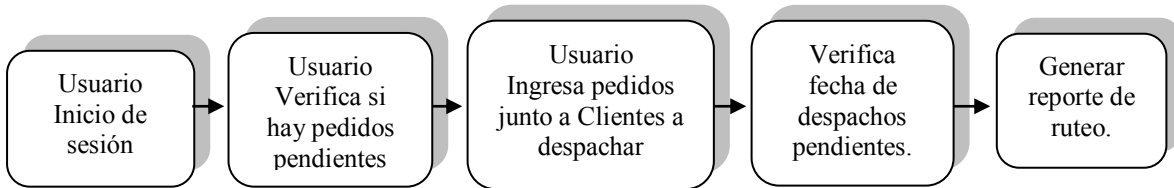
A continuación, se detallan los pasos que se deben seguir para llevar a cabo la construcción del sitio web del sistema de gestión de flota.

Figura 6.5.1 secuencia de construcción del Sitio Web



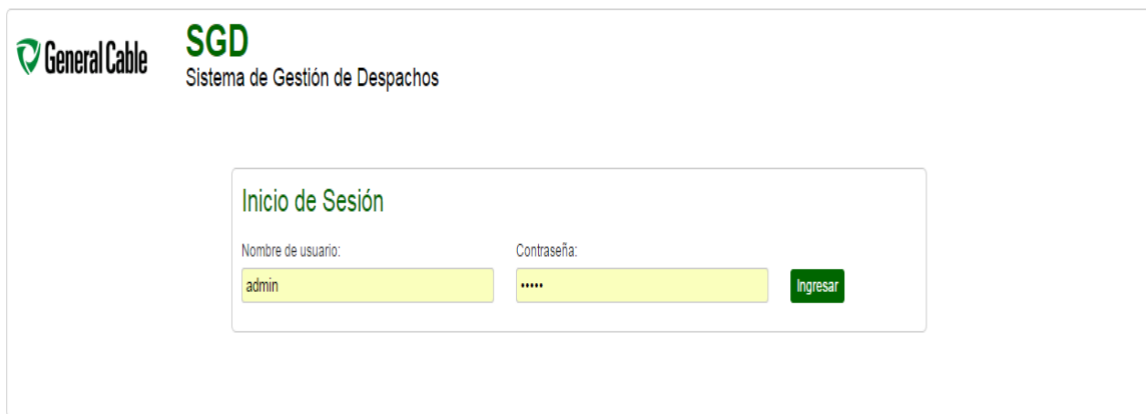
6.6 Pasos de la construcción de la página web

Diagrama del Proceso utilización de software:



Pantalla principal del portal: al ingresar al sistema, se observa la página de inicio, en donde se muestra al usuario y la clave de acceso.

Figura 6.6.1 Página inicial del Sistema de Despacho



Pedidos no asignados: lo primero que se aprecia son los pedidos que no han sido designados a ningún camión para incorporarlos dentro de las rutas. Estos casos suceden cuando no hay productos en stock o son mercancías con desperfectos. Uno de los objetivos de este programa obligar a realizar todos los despacho programados, cumpliendo a los clientes en necesidad y calidad de servicio.

Figura 6.6.2 Pedidos pendientes

General Cable **SGD** Sistema de Gestión de Despachos cerrar sesión
Has ingresado como:
admin

Menú Principal

Inicio Ingresar Pedidos + Cliente + Camiones Despachos Reportes

Pedidos NO asignados
Listado de pedidos ordenados por fecha cuyo despacho aún **no han sido definidos**.

ID	Cliente	Dirección	Sector	Área	Fecha entrega
3	CINTAC	Santa Dela 1100	Sur	3	2015-03-26

* Unidad de medida de área: Metros cuadrados (m²)

Ingresar pedidos: dentro de esta pestaña se ingresan todos los pedidos que entrega el sistema JD Edwards de la compañía Cobres Cerrillos (General Cable). Allí, se selecciona “Cliente” el cual ya tiene asignada la dirección dentro de la base de datos (**anexo 2**) y además el área que utiliza dentro del camión. Es importante mencionar que al ser un material delicado, sólo se puede cargar pallets al piso de la rampla del camión, y no montar nada sobre ellos. Revisar figura 6.6.1.3

Figura 6.6.3 Ingresar pedidos

General Cable **SGD** Sistema de Gestión de Despachos cerrar sesión
Has ingresado como:
admin

Menú Principal

Inicio **Ingresar Pedidos** + Cliente + Camiones Despachos Reportes

Ingresar Pedidos

Cliente:

Área del despacho (m²):

Fecha de entrega:

Ingresar pedido

Ingresar Clientes nuevos: dentro de las opciones que entrega el software se encuentra ingresar clientes nuevos, los cuales se incorporan a la base de datos ya existente. En este punto se debe ingresar la dirección junto a la longitud y latitud, además del sector al que pertenece de Santiago (Norte, Sur, Poniente, Oriente, Centro). Ver figura 6.6.1.4

Figura 6.6.4 Ingreso de nuevos Clientes

The screenshot displays the SGD (Sistema de Gestión de Despachos) interface. At the top left, the General Cable logo and the SGD logo are visible, along with the text 'Sistema de Gestión de Despachos'. On the top right, there is a 'cerrar sesión' link and the text 'Has ingresado como: admin'. Below the header is the 'Menú Principal' with options: Inicio, Ingresar Pedidos, + Cliente (highlighted), + Camiones, Despachos, and Reportes. The main content area is titled '(+) Agregar cliente' and contains a form with the following fields: 'Nombre del cliente:' (text input), 'Dirección del cliente:' (text input), 'Latitud (desde Google Maps):' (text input), 'Longitud (desde Google Maps):' (text input), and 'Sector de Santiago:' (dropdown menu with 'Centro' selected). A green 'Agregar cliente' button is located below the form. Below the form is a section titled 'Clientes registrados' with the subtitle 'Listado de clientes registrados en el sistema.' and a table with the following data:

Cliente	Dirección	Sector	Ubicación
COSESA	Camino a Melipilla 2100	Sur	Ver Mapa
CINTAC	Santa Dela 1100	Sur	Ver Mapa

Ingreso de nuevos camiones: aquí se tiene la posibilidad de incorporar camiones nuevos, los que se agregan a la base de datos ya existente. Estos camiones deben cumplir con todas las normas que exige Cobres Cerrillo, tales como seguridad y proceso de carga y descarga, tal como se indica en la figura 6.6.1.5

Figura 6.6.5 Ingreso de nuevos Camiones

General Cable **SGD** Sistema de Gestión de Despachos cerrar sesión
Has ingresado como:
admin

Menú Principal

Inicio Ingresar Pedidos + Cliente **+ Camiones** Despachos Reportes

(+) Agregar Camiones

Patente: Capacidad máxima (m²):

Agregar camión

Camiones registrados
Listado de camiones registrados en el sistema.

Patente	Capacidad máxima
BVBB50	5
FVDX34	5

Asignar despachos: una vez ingresado los pedidos diarios, se deben enviar a despacho todos los pedidos dentro de la misma zona para así asignar los camiones según la capacidad de área a utilizar. Revisar figura 6.6.1.6

Figura 6.6.6 Asignación de camión a despacho según su capacidad en Área

General Cable **SGD** Sistema de Gestión de Despachos cerrar sesión
Has ingresado como:
admin

Menú Principal

Inicio Ingresar Pedidos + Cliente + Camiones **Despachos** Reportes

Despachos

Fecha de despacho:

Lista de pedidos para el 2015-05-15	Despacho, Área Total: 1
<p>Cliente: FLORES Y KERSTING S.A. Dirección: Av. Presidente Eduardo Frei montalva 6001, Conchalí Sector: Norte Volumen: 1 m³</p> <p style="text-align: right;">Enviar a despacho ></p>	<p>Cliente: REXEL ELECTRA S.A. Dirección: Av. Presidente Eduardo Frei montalva 6500, Conchalí Sector: Norte Volumen: 1 m³</p> <p style="text-align: right;">< Eliminar pedido</p>
<p>Cliente: CASA MUSA ELECTROTEC. LTDA. Dirección: Catedral 4386 Quinta Normal Sector: Norte Volumen: 1 m³</p> <p style="text-align: right;">Enviar a despacho ></p>	
<p>Cliente: Construmart Panamericana Dirección: Isutaro 5202 quilicura Sector: Norte Volumen: 1 m³</p> <p style="text-align: right;">Enviar a despacho ></p>	

Volver **Asignar camión**

Reporte de despacho: se puede generar un reporte de despacho (Figura 6.6.1.7) una vez asignado el camión según su área a utilizar. Dentro de este reporte aparece cliente a

despachar y su dirección. Este reporte también se utiliza como carta de flete para que el conductor pueda cobrar una vez que se haya rendido toda la guía correspondiente a su despacho.

También se genera un mapa donde muestra la ruta óptima a seguir (Figura 6.6.1.8), ésta ayuda mucho al conductor para minimizar tiempos de entrega y ahorro de combustible.

Figura 6.6.7 Reporte de Despacho

General Cable SGD Sistema de Gestión de Despachos

cerrar sesión
Has ingresado como: admin

Menú Principal

Inicio Ingresar Pedidos + Cliente + Camiones Despachos Reportes

Despachos para el día: 2015-05-15

Detalle de despacho para cada uno de los camiones en la fecha seleccionada.

Despachos del camión de patente: WY2139, Área total: 7 m³

Cliente: REVEL ELECTRA S.A. Dirección: Av. Presidente Eduardo Frei montalva 6500, Conchalí Sector: Norte Volumen: 1 m ³	Enviar a despacho >
Cliente: FLORES Y KERSTING S.A. Dirección: Av. Presidente Eduardo Frei montalva 6001, Conchalí Sector: Norte Volumen: 1 m ³	Enviar a despacho >
Cliente: CASA MUSA ELECTROTEC. LTDA. Dirección: Catedral 4386 Quinta Normal Sector: Norte Volumen: 1 m ³	Enviar a despacho >
Cliente: Construmart Panamericana Dirección: Iautaro 9202 Quilicura Sector: Norte Volumen: 1 m ³	Enviar a despacho >

[Ver clientes en el mapa](#)

Ver mapa de ruta a seguir

Figura 6.6.8 Mapa Ruta a realizar por camión



7. Análisis de Indicadores

Una vez definido el problema se aplicaron mejoras al proceso de despacho, comenzando con el proceso “Zona de Pre-Embarque”, el cual consiste en designar zonas de carga con la capacidad de un camión, todo esto con el ruteo previamente realizado (ruteo con la experiencia del Operador de la ruta). Con esto, se quiere atacar los indicadores “Clientes por Camión”, “Efectividad (US\$)”, “Toneladas por Camión”, “Costo promedio de Transporte”, “Toneladas Transportadas” y “Costo por tonelada despachada”.

A raíz de los indicadores anteriormente mencionados, se comienza a aplicar nuevos procesos para la mejora continua, “Proceso Ruteo con Capacidad y Ventanas de Tiempo”, aplicando un software de ruteo con capacidad y ventanas de tiempo. Este software reflejo de inmediato una mejora importante en el proceso, como se demuestra en la siguiente tabla:

Tabla 7.1. - Indicadores Cobres Cerrillos

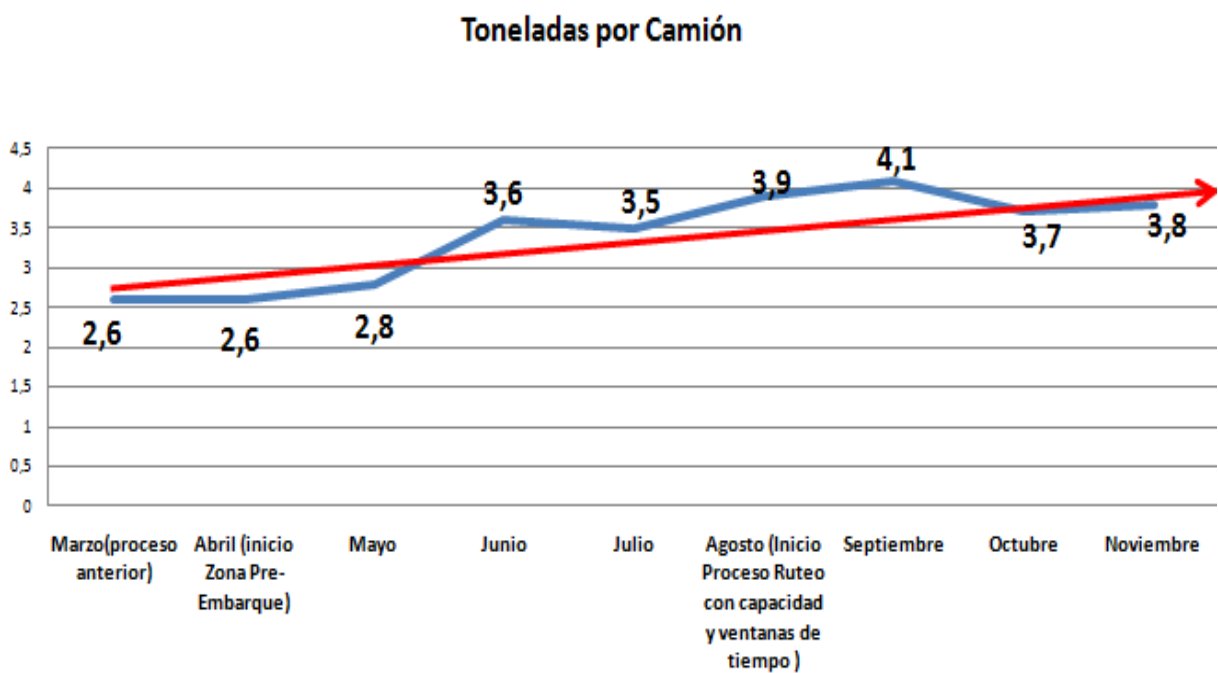
Mes	Clientes X Camión	Efectividad (US\$)	TM X Camión	Costos Promedio de transporte (CT)	TM transportada (TMT)	Costo TM despachada (CT/TMT)
Marzo(proceso anterior)	1,3	26%	2,6	\$ 10.510.132	503,31	\$ 20.882
Abril (inicio Zona Pre-Embarque)	1,7	39%	2,6	\$ 10.877.724	498,39	\$ 21.826
Mayo	1,6	38%	2,8	\$ 8.321.660	409,93	\$ 20.300
Junio	1,8	39%	3,6	\$ 12.911.314	765,80	\$ 16.860
Julio	1,7	38%	3,5	\$ 12.037.592	609,57	\$ 19.748
Agosto (Inicio Proceso Ruteo con capacidad y ventanas de tiempo)	1,83	53%	3,9	\$ 10.572.396	698,65	\$ 15.133
Septiembre	1,75	54%	4,1	\$ 11.321.659	809,59	\$ 13.984
Octubre	1,749	52%	3,7	\$ 10.698.145	694,92	\$ 15.395
Noviembre	1,9	52%	3,8	\$ 9.565.727	619,00	\$ 15.454
META PROPUESTA	2	50%	3,5			

Fuente: Cobres Cerrillos S.A.

7.2 Toneladas por camión

Con este indicador se tiene un control en la utilización eficiente de la capacidad de los camiones, así se disminuyen costos y se entrega un mejor servicio al cliente final. Se refleja una mejora importante con la incorporación del nuevo software.

Figura 7.2.1- Indicador Toneladas por Camión



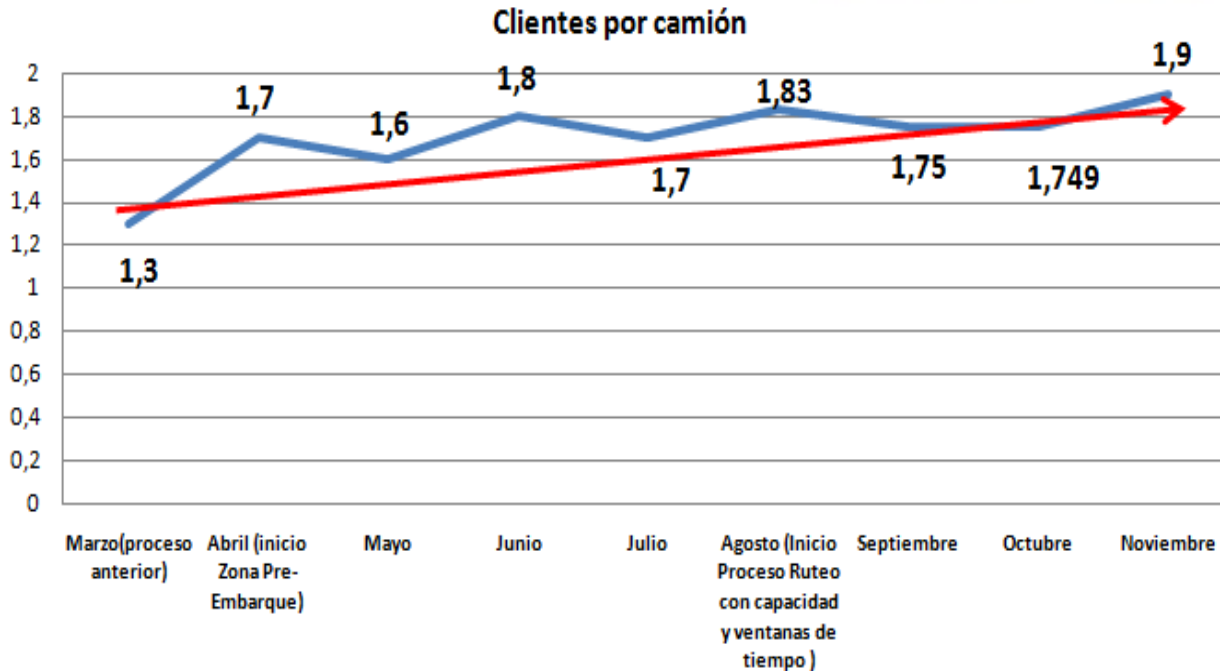
Fuente: Cobres Cerrillos

7.3 Clientes por camión

El indicador “clientes por camión” ayuda a minimizar las vueltas que realizan los camiones, a bajar costos de transporte y optimizar la flota. Siempre en fechas fuertes de ventas se solicita flota adicional para cubrir todo el despacho y cumplimiento hacia el cliente. Con las mejoras de “zonas de pre-embarque” y “ruteo con capacidad y ventanas de tiempo”,

se logra un mejor tiempo de entrega, satisfaciendo las necesidades de los clientes, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 7.3.1- Indicador Clientes por Camión



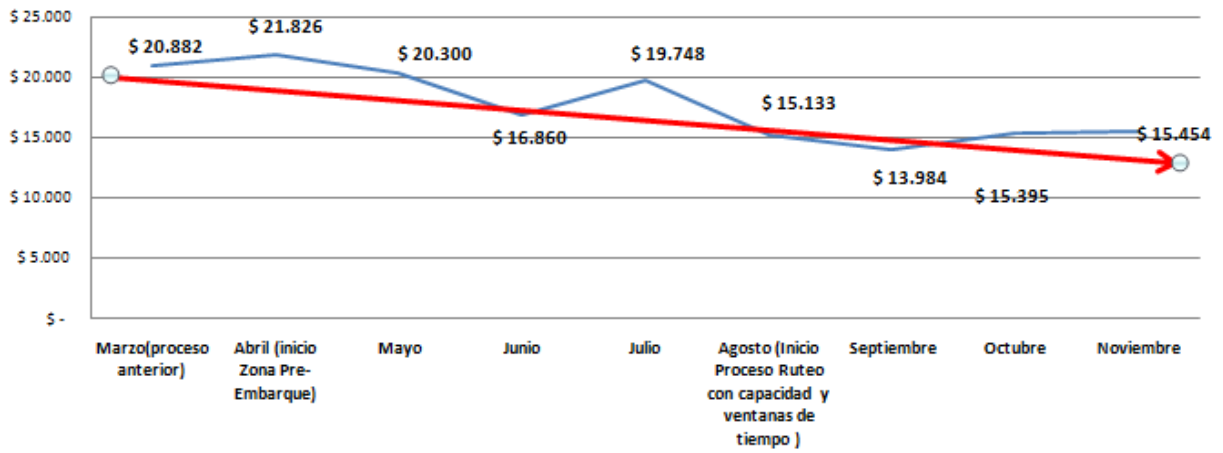
Fuente: Cobres Cerrillos

7.4 Costo tonelada despachada

Los indicadores “cliente por camión” y “toneladas por camión” son fundamentales para bajar los costos de las toneladas despachadas, este indicador va directamente lazado con los costos de transporte, el cual a su vez ayuda a disminuir los valores de los productos. La disminución del costo por tonelada despachada se ve reflejada en el siguiente grafico:

Figura 7.4.1- Indicador costo tonelada despachada

Costo Tonelada despachada (CT / TMT)



Fuente : Cobres Cerrillos

8 Conclusión

Una vez estudiado el sistema de ruteo de despacho a distintos clientes de la región Metropolitana, nos encontramos que los líderes de celda generan de forma manual el ruteo de los camiones, en la cual sólo utilizan la experiencia en el tema. Como este es un proceso ambiguo, rutinariamente sólo verifican si una carga está preparada y la despachan, sin tener un control total de todos los despachos a realizar durante el día.

Esto ha conllevado variados problemas en la distribución de los camiones, ya que constantemente se tiene que esperar a los camiones vuelvan a la empresa para poder seguir despachando, no logrando despachar la totalidad de los productos que los clientes han requerido. Y un problema constante, es que los camiones hacen más de dos veces la misma ruta y no se utiliza la capacidad total de los camiones.

Sin embargo, con la construcción del modelo de planificación de ruteo con capacidad y ventanas de tiempo se lograron mejoras. Es relevante decidir cómo transportar los productos hacia los clientes respetando sus restricciones horarias y gracias a la construcción de este modelo, se logró resolver las distintas variables que tenía el problema.

Los problemas de ruteo de vehículos pueden ser modelados mediante un enfoque de programación matemática, basado en modelos mixtos con variables de naturaleza entera o lineal. Por otro lado, las variables binarias han permitido representar de mejor manera los caracteres de decisiones involucradas.

En este trabajo se decidió utilizar la tecnología, teniendo la base de datos en la web para así sólo ingresar el área a utilizar de un camión y generar un conjunto de nuevas rutas en cada interacción del problema. En cada interacción busca la ruta que más aporte a la configuración de rutas existentes en el modelo.

Este modelo fue comprobado en distintas instancias de prueba que representaron problemas reales a los que se enfrentó la empresa Cobres Cerillos, todo con el fin de resolver los diferentes escenarios del día a día.

Además, este modelo permitió construir distintos indicadores; clientes por camión, efectividad en los compromisos de entrega, utilización de camión, costo de transporte, costo de toneladas de material despachado, entre otros, lo cual agregó un valor al trabajo realizado, permitiendo así la mejora continua.

Con la validación del modelo, la metodología propuesta conllevó a una mejora sustancial en los niveles de servicio. A pesar de que pudiera existir un aumento en la demanda, y aumentar la cantidad de camiones, es importante destacar la potencial ayuda que brindó la aplicación de este modelo. Destacando además, las mejoras en niveles de servicio, en los tiempos de entrega y disminución en los costos de transporte.

A su vez, se obtuvo como mejora estimada la suma de \$11.332.860.- anuales, los cuales a primera vista es un ahorro interesante. Sin embargo, adquirir el software y capacitar a un operador para que lo administre, tiene un costo comercial cercano a los 6.000 dólares anuales, lo que hizo que la implementación fuera rentable después del 5to mes de implementación del modelo.

Para incorporar una mejora en los tiempos de resolución se realizó un pre-procesamiento de los datos. Se agruparon a los clientes por ubicación y características específicas, además de agrupación de productos junto a todas sus medidas, las cuales nos

ayuda a dimensionar la cantidad de producto a cargar en el área del camión. Con esto se disminuyó el número de elementos que se debe ingresar al modelo.

Es muy importante tener actualizada la información de los tiempos de espera y descarga, ya que tiene una importante relevancia con la configuración de la flota, junto al cumplimiento de entrega con los demás clientes que lleva un camión. Este estudio de parámetros se debe ajustar y afinar de manera de tener valores representativos al momento de realizar los ruteos.

Por último, este trabajo da resultados convenientes para desarrollar un sistema que permita el trabajo de profesionales o encargados de ruteo utilizar la metodología desarrollada en ciclos regulares de configuración de pedidos, entregando mejores servicio y confiabilidad al cliente con los tiempos de entrega.

9 Bibliografía

Libros

[1] Hillier Frederick y Libermar Gerald, (2006), "Introducción a la investigación de operaciones.

[2] Ramírez Castellano Andrés, "Manual de la gestión logística de transporte y distribución de mercancía".

[3] S.Blanchard Benjamin, (2007), "Ingeniería Logística".

[4] Chase Charles (2011), "Demand-Driven to Forecasting: A Structured Approach to Forecasting" (Pronósticos basados en la demanda: un planteamiento estructurado para realizar pronósticos).

[5] Arnoletto Eduardo Jorge (2009), "Administración de la Producción Como Ventaja Competitiva".

[6] Hernández Muñoz Rafael Fernando (2008), "Logística de almacenes".

[7] Joaquín Antonio Pacheco Bonrostro. "Problemas de rutas con ventanas de tiempo". Universidad Complutense de Madrid. Dpto. Estadística e Investigación operativa. Facultad de Ciencias Matemáticas.

[8] Alfredo Olivera (2004), "Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos". Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

- [9] Figliozzi, M. (2006). Modeling the impact of technological changes on urban commercial trips by commercial activity routing type, *Transportation Research Record*, 1964, 118-126.
- [10] Solomon, M. y Desrosiers, J. (1988). Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems, *Transportation Science*, 22(1), 1-13.
- [11] Fleischmann, B., Gietz, M. y Gnutzmann, S. (2004). Time-Varying Travel Times in Vehicle Routing. *Transportation Science*, 38 (2), 160-173.
- [12] Dantzig, G., Fulkerson, D. y Johnson, S. (1954). Solution of a large scale traveling salesman problem, *Journal of the Operations Research Society of America*, 2, 393-410.
- [13] D. K. Gupta: "A new algorithm to solve vehicle routing problems (VRPs)", *International Journal of Computer Mathematics*, 80(3), 267-274, 2003.
- [14] Malandraki, C. y Daskin, M.S. (1992). Time dependent vehicle routing problems: formulations, properties and heuristic algorithms. *Transportation Science*, 26, 185-200.
- [15] Ichoua, S., Gendreau, M. y Potvin, J. (2003). Vehicle Dispatching With Time-Dependent Travel Times. *European Journal of Operational Research*, 144 (2), 379-396.
- [16] Regan, A., Mahmassani, H. y Jaillet, P. (1996). Dynamic Decision Making for Commercial Fleet Operations Using Real-Time Information, *Transportation Research*

Record, 1537, 91-97.

[17] Durbin, M. y Hoffman, K. (2008). The Dance of the Thirty-Ton Trucks: Dispatching and Scheduling in a Dynamic Environment, *Operations Research*, 56 (1), 3-19.

[18] Haghani, A. y Jung, S. (2005). A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times, *Computers & Operation Research*, 32, 2959-2986.

[19] Chen, H., Hsueh, C. y Chang, M. (2006). The real time- time-dependent vehicle routing problem. *Transportation Research Part E*, 42, 383-408.

[20] Ichoua, S., Gendreau, M. y Potvin, J. (2000). Diversion Issues in Real-Time Vehicle Dispatching. *Transportation Science*, 34 (4), 426-438.

[21] Enrique Alba y Bernabé Dorronsoro, "Cellular Genetic Algorithms". *Operations research/ Computer Science Interfaces*. Springer. 2008.

[22] Alfredo Olivera, "Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos". Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 2004.

[23] Clarke, G., Wright, W.: Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research* 12 (1964) 568-581

[24] W, de Muynck Bridging the Gap between XML and Hypermedia: a Layered Transformational Approach, Tesis. Approach, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 2000.

[25] CHARTE OJEDA, Francisco
Programación PHP 5 Proyectos Profesionales, 2004

Tesis

Magdalena Soto Ogaz (2011), "Diseño de una metodología para el apoyo del despacho de concentrado de cobre desde la lixiviación in situ en la planta SX EW", Universidad de Chile.

Álvaro Norberto Silva Sánchez (2006), "logística de almacenamiento".

Matías Jaime Ebensperger Palacios (2009), "Una formulación para el problema de ruteo vehículos con tiempos de viaje dependiente del tiempo para la actualización de rutas con información en tiempo real", Universidad de Chile.

Francisco Luna Valero (2008), "Metaheurísticas avanzadas para problemas reales en redes de comunicaciones", Universidad de Málaga, España.

Muñoz, Elver A.;Calderón Sotero, Jaime Hernán (2009), "Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte", Universidad Autónoma de Occidente, Colombia.

Enrique Acuña (2009), "Ruteo de vehículos con ventanas de tiempo para una cadena de supermercados regional en Chile", Universidad de Chile.

Paula Zavala (2006), "Problemas de ruteo vehicular", Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Irma Delia Garcia Calvillo (2010) " Un enfoque metaheurístico para un problema de ruteo con flexibilidad el las fechas de entrega" Universidad autónoma de Nuevo León,

Documentos Electrónicos

[26] Francesc Robusté, (2005), "Logística del Transporte", disponible en:

http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=U2j7vXvS_rcC&oi=fnd&pg=PA13&dq=logistica_d_el_transporte+&ots=QvYcd5dTsu&sig=xkJ5eZchHh30DJhJ3wQxcBbUs#v=onepage&q=logistica_del_transporte&f

[27] Diseño y Desarrollo Web,

<http://www.smooth-step.com/disenio-web/guia>, Abril 2010.

[28] Tu primera aplicación web con PHP.

<http://www.leemiblog.com/programacion/tu-primera-aplicacion-web-1-parte>,

<http://www.leemiblog.com/programacion/tu-primera-aplicacion-web-2-parte>,

<http://www.leemiblog.com/programacion/tu-primera-aplicacion-web-3-parte>, Septiembre del 2007.

10 Anexos

1. Tabla Restricción de Clientes

CONDICIONES PARA ENTREGA A CLIENTES REGALONES								
CLIENTE	TIPO DE CLIENTE	DIAS DE RECEPCION	HORARIO DE RECEPCION	LIMITANTE PESOS MAX.	TIENE LIMITES TIPO DE CAMION	PROBLEMA PARA DESCARGAR	SE DEBE SOLICITAR CITA	DETALLE DE CARGA
AGUILA	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
CAM CHILE SA	Utility Samuel Perez: 97414292	LUNES A JUEVES DE 9.00 A 17.00- VIERNES DE 9 A 13.00	HORARIO A CONVENIR (SOLICITAR HORA)	NO	NO	NO	SI	PACKING LIST
CASA MUSA ELECTROTEC. LTDA.	Distribuidor	LUNES A VIERNES	HASTA LAS 10:00	DESCARGA A MANO	NO	NO	NO	NO
CASA MUSA ELECTROTEC. LTDA. MATTA	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	DESCARGA A MANO	NO	NO	NO	NO
CASA MUSA ELECTROTEC. LTDA. LAS CONDES 7914	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	DESCARGA A MANO	NO	NO	NO	NO
CLG (Comercial log.General)	Distribuidor	LUNES A VIERNES	HORARIO A CONVENIR (SOLICITAR HORA)	NO	NO	NO	SI	PACKING LIST
COMELSA LTDA	Cliente Final	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	AVISAR CUANDO ES CARGA GRANDE POR QUE EN ESE CASO RETIRAN	NO	NO	NO
COMERCIAL ARAGON LIMITADA	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
COMERCIAL LARRAIN S.A	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9.00 A 18.00	NO	NO	Aviso para contratar Grúa	NO	NO
COMERCIAL LOGISTICA APLICADA	Distribuidor	LUNES A VIERNES	HORARIO A CONVENIR (SOLICITAR HORA)	NO	NO	NO	SI	NO
CONSTRUMART S.A.	Retail	LUNES A VIERNES	HORARIO A CONVENIR (SOLICITAR HORA)	NO	NO	NO	SI	CAMIÓN CERRADO
COSMOPLAS S.A	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
DARTEL S.A.	Distribuidor	MARTES Y JUEVES	9.00 A 12,00	NO	NO	Hasta un C122	NO	NO
EASY	Retail	LUNES Y VIERNES	HASTA 12:00:00 PM	NO	NO	NO	NO	NO
EECOL INDUSTRIAL ELECTRIC	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
ELECTRI Y CONSTRUCCION (TRANS LINSAS) LAMPA	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
ELECTRICIDAD GOBANTES S.A.	Distribuidor	LUNES A VIERNES	HORARIO A CONVENIR (SOLICITAR HORA CON 24HRS ANTES)	NO	NO	aviso sobre 3tm	SI	NO
ELECTRICIDAD GUZMAN	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
ELECTROCOM S.A.	Distribuidor	LUNES A VIERNES	7:30-8:30	DESCARGA A MANO	NO	NO	NO	NO
ELECTROTEL (TRANS. SHUCK)	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
ELFLE COMERCIAL DOS LTDA.	Cliente Final	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	DESCARGA A MANO	NO	NO	NO	NO
ENERSIS	Utility Samuel Perez: 97414292	LUNES A VIERNES (viernes hasta las 13:00)	HORARIO A CONVENIR (SOLICITAR HORA)	NO	NO	NO	SI	PACKING LIST
F Y K- REXEL PRODUCTOS CALZADOS- ESPECIAL	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9.00 A 17,30	NO	NO	Aviso sobre 5 tm	NO	NO
FOODS	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-14:00	NO	NO	NO	NO	NO
Grupo F y K, Rexel	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9.00 A 13.00	NO	NO	Aviso sobre 5 tm	NO	NO
IMPERIAL S.A.	Distribuidor	LUNES A VIERNES	HORARIO A CONVENIR (SOLICITAR HORA)	NO	NO	NO	SI	ITEM POR PALLETS

INDUSTRIA NACIONAL DE ENVASES (INERSA)	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
ING.Y CONSTRUCCION SIGDO KOPPERS S.A	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
INGENERIA PROYECTOS Y MONTAJES LTDA	Distribuidor	LUNES A VIERNES	HORARIO A CONVENIR (SOLICITAR HORA)	NO	NO	NO	SI	NO
INGENIERIA Y LOGISTICA APLICADA LTDA	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
JUAN CANCINO GARRIDO	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
LA CENCO	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	Aviso para contratar Grúa	NO	NO
LOMUSCIO HERMANOS	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA
LOMUSCIO HIJO	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA	RETIRA
OUTOTEC	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
PDQ (DARTEL)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO		NO	NO
RTR-CONDENSADORES DNA CHILE S.A	Distribuidor	LUNES A VIERNES	8:00-13:00 Y 14:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
SALFA CONSTRUCCION S.A.	Distribuidor	LUNES A VIERNES	8:00-13:00 Y 14:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
SOC. AUSTRAL DE ELECT. S.A.(TRANS SHUCK)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
SOC.COMERCIALIZADORA E INMOB.LTDA.	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
SOCIEDAD COMERCIAL LAMPA LTDA	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
SOCIEDAD COMERCIAL SAJONIA LIMITADA	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
SODIMAC CROSS DOCKY	RETAIL	LUNES A VIERNES	12:00	NO	NO	NO	NO	NO
SODIMAC TIENDAS	RETAIL	LUNES A VIERNES	HORARIO A CONVENIR (SOLICITAR HORA)	NO	NO	NO	SI	NO
TECNO RED (VALPARAÍSO)	Distribuidor	LUNES A VIERNES	8:00-12:00	NO	NO	NO	NO	NO
TODO CABLE	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans Salon Chaves (Norte Grande)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	8:00-13:00 Y 14:00-17:00	NO	NO	NO	NO	PALLET ENVUELTO CON PAPEL KRAFT
Trans. Bass(Grez y Ulloa)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans. Binder (DARTEL)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans. Eco express (ELECTROCOM)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans. Sitrans (CODELCO)	cliente final, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans. Sotraser (CONS. EL ABRA)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans. Sotraser (MINERA CANDELARIA)	cliente final, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-16:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans. Taladriz cargo (ELECTROCOM)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans. Tamarugal (MEGA ELECTRIC)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans. Villa prat (CASA MUSA)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
Trans. Villa prat. (DARTEL)	Distribuidor, Transporte del Cliente	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
TURSEL	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
TUSAN	Distribuidor	LUNES A VIERNES	9:00-17:00	NO	NO	NO	NO	NO
VITEL S.A.	Distribuidor	LUNES A JUEVES	9.00 A 18.00	NO	NO	NO	NO	NO

2. Base de Datos JD Edwards

Cliente	n/v	pro+col	descrip	CANTIDAD (metros)	CANTIDAD (unidades)	HORARIO DE RECEPCION	SE DEBE SOLICITAR CITA	Volumen Carga	AREA A UTILIZAR (m2)	peso (Tn)
CASA MUSA ELECTROTEC. LTDA.	162063	EX0503	SUPERFLEX 6 AWG 1KV	100	0,1	HASTA LAS 10:00	NO	0,14884	1,032256	0,19635
CLAS ING ELECTRICA E INVERSIONES S.A.	161608	ED4500	C/THHN 4 AWG 7H 600V C100	1000	1	9:00-17:00	NO	1,4884	0,660969	0,2225
CLAS ING ELECTRICA E INVERSIONES S.A.		ED4503	C/THHN 4 AWG 7H 600V C100	1000	1	9:00-17:00	NO	1,4884	0,660969	0,2225
CLAS ING ELECTRICA E INVERSIONES S.A.	161803	EX1303	SUPERFLEX 4/0 AWG 1KV	360	0,36	9:00-17:00	NO	0,535824	1,032256	1,22577
CLAS ING ELECTRICA E INVERSIONES S.A.	162056	UA3203	EXZHELLENT-XXI 1X2,5 MM2 750V	2400	12	9:00-17:00	NO	0,07056	0,079	0,06097
CLAS ING ELECTRICA E INVERSIONES S.A.	162065	DU6105	EVAFLEX 2,5 MM2 450/750V R100	100	1	9:00-17:00	NO	0,003703	0,079	0,03236
COMERCIAL LARRAIN S.A.	161572	DU0303	EVAFLEX 4 MM2 450/750V C5	200	2	9:00 A 18:00	NO	0,008712	0,079	0,04705
COMERCIAL LARRAIN S.A.	162048	EX3203	SUPERFLEX 3x12 AWG 1KV	1000	1	9:00 A 18:00	NO	1,4884	1,032256	0,23453
COMERCIAL Y LOGISTICA GENERAL S.A.	162017	CA6505	A/NYA 6 MM2 0,6/1KV ROLLO	100	1	9:00-16:00	NO	0,004232	0,079	0,06689
COMERCIAL Y LOGISTICA GENERAL S.A.		ED5100	C/THHN 14 AWG 7H 600V R100+	2200	22	9:00-16:00	NO	0,04796	0,079	0,02474
COMERCIAL Y LOGISTICA GENERAL S.A.		ED5102	C/THHN 14 AWG 7H 600V R100+	200	2	9:00-16:00	NO	0,00436	0,079	0,02474
COMERCIAL Y LOGISTICA GENERAL S.A.		ED5103	C/THHN 14 AWG 7H 600V R100+	13600	136	9:00-16:00	NO	0,29648	0,079	0,02474
COMERCIAL Y LOGISTICA GENERAL S.A.		KU3703	XAT 35 mm ² 7H 15KV T1	1000	1	9:00-16:00	NO	1,4884	1,8769	0,86574
CONSTRUMART S.A.		7 CD3354	GENLIS H07V-U 2,5 MM2 750V F	1000	40	ONVENIR (SOL)	SI	0,02704	0,079	0,02901
CONSTRUMART S.A.	161498	CC2307	CALECO NYIF 2 X 1,5 MM2 380V	100	0,5	ONVENIR (SOL)	SI	0,7442	0,470596	0,0519
CONSTRUMART S.A.	161706	ED5200	C/THHN 12 AWG 7H 600V R100+	100	1	ONVENIR (SOL)	SI	0,003038	0,079	0,03709
CONSTRUMART S.A.		ED5202	C/THHN 12 AWG 7H 600V R100+	100	1	ONVENIR (SOL)	SI	0,003038	0,079	0,03709
CONSTRUMART S.A.		ED5205	C/THHN 12 AWG 7H 600V R100+	100	1	ONVENIR (SOL)	SI	0,003038	0,079	0,03709
CONSTRUMART S.A.	161767	ED5302	C/THHN 10 AWG 7H 600V R100+	1100	11	ONVENIR (SOL)	SI	0,047916	0,079	0,06071
CONSTRUMART S.A.	161951	CD3354	GENLIS H07V-U 2,5 MM2 750V F	1000	40	ONVENIR (SOL)	SI	0,02704	0,079	0,02901
CONSTRUMART S.A.		CD3360	GENLIS H07V-U 2,5 MM2 750V F	1800	36	ONVENIR (SOL)	SI	0,062424	0,079	0,02901
CONSTRUMART S.A.	161958	CD3200	GENLIS H07V-U 1,5 MM2 750V F	6000	60	ONVENIR (SOL)	SI	0,1296	0,079	0,01837
CONSTRUMART S.A.		CD3202	GENLIS H07V-U 1,5 MM2 750V F	6000	60	ONVENIR (SOL)	SI	0,1296	0,079	0,01837
CONSTRUMART S.A.		CD3300	GENLIS H07V-U 2,5 MM2 750V F	6000	60	ONVENIR (SOL)	SI	0,1587	0,079	0,02901
CONSTRUMART S.A.		CD3302	GENLIS H07V-U 2,5 MM2 750V F	6000	60	ONVENIR (SOL)	SI	0,1587	0,079	0,02901
CONSTRUMART S.A.		CD3304	GENLIS H07V-U 2,5 MM2 750V F	6000	60	ONVENIR (SOL)	SI	0,1587	0,079	0,02901
CONSTRUMART S.A.	162030	CD3260	GENLIS H07V-U 1,5 MM2 750V F	2000	40	ONVENIR (SOL)	SI	0,0528	0,079	0,01837
CONSTRUMART S.A.		CD3264	GENLIS H07V-U 1,5 MM2 750V F	2000	40	ONVENIR (SOL)	SI	0,0528	0,079	0,01837
CONSTRUMART S.A.	162058	CD3352	GENLIS H07V-U 2,5 MM2 750V F	1000	40	ONVENIR (SOL)	SI	0,02704	0,079	0,02901
CONSTRUMART S.A.		CD3354	GENLIS H07V-U 2,5 MM2 750V F	1000	40	ONVENIR (SOL)	SI	0,02704	0,079	0,02901
DARTEL S.A.	161786	EX6103	SUPERFLEX 4x14 AWG 1KV	600	0,6	9:00 A 12:00	NO	0,89304	1,032256	0,21199
DARTEL S.A.	162052	EX0503	SUPERFLEX 6 AWG 1KV	1000	1	9:00 A 12:00	NO	1,4884	1,032256	0,19635
ELECTRICIDAD GOBANTES S.A.	161854	ED4002	C/THHN 14 AWG 7H 600V C100	4000	4	(SOLICITAR HC)	SI	0,1792	0,660969	0,02547
ELECTRICIDAD GOBANTES S.A.		ED4003	C/THHN 14 AWG 7H 600V C100	2000	2	(SOLICITAR HC)	SI	0,0896	0,660969	0,02547
ELECTRICIDAD GOBANTES S.A.	161940	ED4405	C/THHN 6 AWG 7H 600V C100	950	0,95	(SOLICITAR HC)	SI	0,04256	0,660969	0,14066
ELECTRICIDAD GOBANTES S.A.	162042	ED7104	C/THHN 14 AWG 7H 600V C	1000	2	(SOLICITAR HC)	SI	0,036	0,660969	0,02474
ELECTRICIDAD GOBANTES S.A.	162064	GH7803	SE 3 x 12 AWG 600V	700	7	(SOLICITAR HC)	SI	0,3528	1,138489	0,26356
FLORES Y KERSTING S.A.	161656	DA7403	C/INST.GPT 14 AWG 300V PVC 1	100	0,1	9:00 A 17,30	NO	0,000529	0,079	0,02543
FLORES Y KERSTING S.A.	161678	DA7305	C/INST.GPT 16 AWG 300V PVC 1	200	2	9:00 A 17,30	NO	0,010575	0,079	0,01772
FLORES Y KERSTING S.A.	161897	DU0301	EVAFLEX 4 MM2 450/750V C5	200	2	9:00 A 17,30	NO	0,008712	0,079	0,04705
REXEL ELECTRA S.A.	161641	EX1303	SUPERFLEX 4/0 AWG 1KV	500	0,5	9:00-16:00	NO	0,7442	1,032256	1,22577
REXEL ELECTRA S.A.	161651	DA7305	C/INST.GPT 16 AWG 300V PVC 1	300	3	9:00-16:00	NO	0,015863	0,079	0,01772