



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE DESPACHO QUE PERMITA UN AUMENTO DE
PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN A TRAVÉS DE UNA MEJOR UTILIZACIÓN DE LOS
CAMIONES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

ELODIE ETCHEPAREBORDE

**PROFESOR GUÍA:
ALEJANDRO BARRIENTOS MENDOZA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RICARDO SAN MARTIN ZURITA
PABLO REY**

**SANTIAGO DE CHILE
NOVIEMBRE 2007**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL INDUSTRIAL
POR : ELODIE ETCHEPAREBORDE
FECHA : 22/11/2007
PROF. GUÍA: ALEJANDRO BARRIENTOS

DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE DESPACHO QUE PERMITA UN AUMENTO DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN A TRAVÉS DE UNA MEJOR UTILIZACIÓN DE LOS CAMIONES

El sector de la construcción y de las obras públicas se está desarrollando cada vez más en Chile. El entorno se está poniendo muy competitivo y para BITUMIX S.A., empresa líder en la elaboración y colocación de mezclas asfálticas es indispensable modernizarse con técnicas de organización adaptadas.

El presente trabajo de título tuvo como objetivo diseñar una estrategia de despacho que permitiera un aumento de producción y colocación a través de una mejor utilización de los camiones. En el desarrollo de este trabajo se utilizó el método de Investigación de Operaciones, el cual consta de seis fases: análisis del sistema en estudio, formulación de los conflictos de la organización, construcción de una estrategia, derivación de soluciones del modelo, prueba del modelo y sus soluciones y, finalmente, implementación del sistema.

En primer lugar se realizó una caracterización del sistema de despacho, en el cual se detectó los principales problemas, que están relacionados con una utilización no eficiente de los camiones. Dado que la empresa tiene una flota fija de camiones era indispensable coordinar adecuadamente los despachos en el día.

Con estos antecedentes se desarrolló una estrategia que pretende minimizar los recursos (camiones) a usar para cada faena. El modelo planteado se resolvió mediante el software Excel y más particularmente con la herramienta computacional Solver, que permite resolver problemas de programación lineal. Conjuntamente con la gerencia de la empresa se eligió usar esta herramienta, simple y fácil de uso, para no dar un paso demasiado grande y correr el riesgo de que el nuevo sistema de despacho no sea aceptado por los operadores. En efecto hace apenas 3 años atrás las decisiones de despacho se realizaban a mano.

En la evaluación del sistema se comparó los resultados del modelo con la operación real. La mejor asignación de los camiones permite un ahorro significativo que alcanza los 38.6% en el caso modelado.

Se hizo un análisis de sensibilidad con respecto a los parámetros del problema. El modelo es muy sensible con respecto a los tiempos de carga y descarga; es decir pequeños cambios en estos tiempos pueden producir grandes modificaciones en la elección del número de camiones asignados a una faena.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO 1	INTRODUCCION	4
1.1.-	Presentación de la empresa.....	4
1.1.1.-	<i>Historia</i>	<i>4</i>
1.1.2.-	<i>Productos</i>	<i>5</i>
1.1.3.-	<i>Equipamiento.....</i>	<i>5</i>
1.1.4.-	<i>Obras y clientes.....</i>	<i>5</i>
1.1.5.-	<i>Actividades de la empresa.....</i>	<i>6</i>
1.2.-	Descripción del problema.....	7
1.3.-	Justificación.....	8
1.4.-	Objetivos y alcances del trabajo de titulo	9
1.4.1.-	<i>Objetivos del Trabajo de Título</i>	<i>9</i>
1.4.2.-	<i>Alcances del Trabajo de Título</i>	<i>9</i>
1.5.-	Metodología de trabajo.....	10
1.6.-	Desarrollo del informe	10
CAPITULO 2	CARACTERIZACION DE LA SITUACION ACTUAL	11
2.1.-	Descripción general del proceso de despacho.....	11
2.1.1.-	<i>Ciclo de trabajo de la situación actual</i>	<i>11</i>
2.1.2.-	<i>Clientes</i>	<i>11</i>
2.1.3.-	<i>Personal BITUMIX.....</i>	<i>12</i>
2.2.-	Análisis crítico de la situación actual: Indices generales.....	12
2.2.1.-	<i>Desviación pedidos</i>	<i>12</i>
2.2.2.-	<i>Tiempo de ciclo</i>	<i>14</i>
2.2.3.-	<i>Hora de salida de planta.....</i>	<i>14</i>
2.2.4.-	<i>Hora de término de faena.....</i>	<i>15</i>
2.2.5.-	<i>Horas perdidas</i>	<i>15</i>
2.3.-	Análisis crítico de la situación actual: uso de los camiones	15
2.4.-	Diagnostico de la situación actual	17
CAPITULO 3	DISEÑO DEL SISTEMA DE DESPACHO	19
3.1.-	Variables críticas de estado	19
3.1.1.-	<i>Tiempo de ciclo</i>	<i>19</i>
3.1.2.-	<i>Tiempo de descarga.....</i>	<i>21</i>
3.2.-	Construcción del modelo.....	23
3.2.1.-	<i>Supuestos y Justificaciones.....</i>	<i>23</i>
3.2.2.-	<i>Diseño del programa de despacho.....</i>	<i>25</i>

3.2.3.- Programa para la planta	33
3.3.- Valor agregado del nuevo programa de despacho	33
3.4.- Algoritmos utilizados para la programación	35
CAPITULO 4 CONSIDERACIÓN ECONOMICA.....	37
4.1.- Análisis kilométrico.....	37
4.2.- Análisis económico	38
4.2.1.- Costos de planta.....	38
4.2.2.- Costos de mano de obra	39
4.2.3.- Costos de material.....	39
4.2.4.- Costos de transporte	40
4.2.5.- Costos totales.....	43
4.2.6.- Otros costos	43
CAPITULO 5 EVALUACION DEL SISTEMA PROPUESTO	45
5.1.- Algunas modificaciones	45
5.1.1.- Número de camiones	45
5.1.2.- Restricciones sobre camiones.....	45
5.1.3.- Manual de utilización del programa	45
5.2.- Análisis de datos	45
5.2.1.- Parámetros del problema	46
5.2.2.- Variables del problema.....	47
5.3.- Análisis del resultado	48
5.3.1.- Detalle sobre el día de prueba.....	48
5.3.2.- Resultados sobre una semana.....	51
5.4.- Análisis de sensibilidad	54
5.5.- Discusión del modelo	57
5.5.1.- Extensiones al modelo	57
5.5.2.- Limitaciones del modelo	58
CAPITULO 6 CONCLUSIONES	59
6.1.- Sobre el estudio	59
6.2.- De un punto de vista personal.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS	63
ANEXO A Planilla de Proyección	63
ANEXO B Planille de Informe	64

ANEXO C	Diagrama de dispersión: análisis de la velocidad en función de la distancia.....	65
ANEXO D	Diagrama de flujo del programa de despacho	66
ANEXO E	Macro “Asignar Cargas”	67
ANEXO F	Hoja de Proyecciones del programa.....	69
ANEXO G	Manual de utilización del programa “OPS”	70
ANEXO H	Salida del programa OPS – Planillas para cada tanda.....	79

CAPITULO 1 INTRODUCCION

1.1.- PRESENTACION DE LA EMPRESA

1.1.1.- Historia

BITUMIX S.A. es una empresa constructora de pavimentos asfálticos; fundada en 1974, BITUMIX S.A. es hoy una empresa líder en la producción y construcción de mezclas asfálticas.

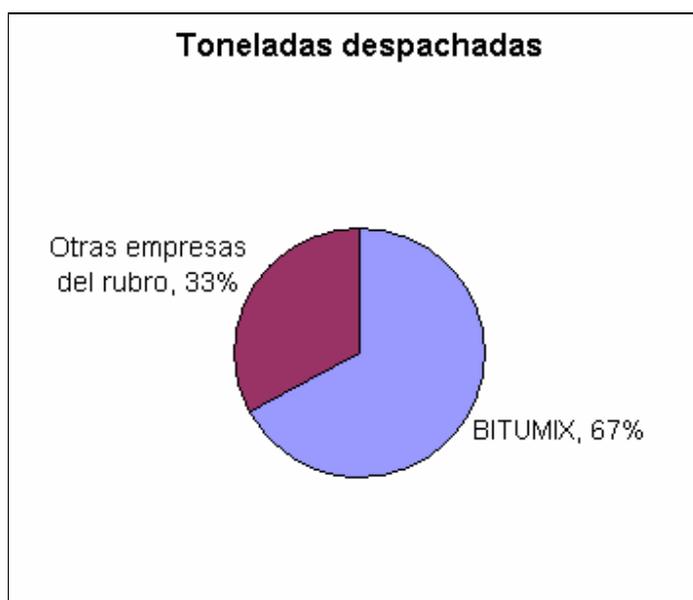
Su historia empieza con una planta y un laboratorio de control de producción en Santiago. En los años ochenta la empresa se desarrolló fuertemente y puso en funcionamiento plantas asfálticas en Concón (V región), Rancagua (VI región), La Serena (IV región) y en Copiapó (III región), alcanzando una gran cobertura en la zona central y el norte chico. En 1993 se instaló otra planta en Puente Alto y, un año más tarde, una tercera planta para satisfacer el mercado en Santiago, en la comuna de Maipú.

La consolidación, la rentabilidad del negocio y la demanda creciente por los servicios de la empresa llevaron a que en 1999 el grupo francés Jean Lefevbre se interesara por instalarse en Chile a través de BITUMIX S.A. Dos años después, este último fue comprado por el grupo VINCI que lidera en Europa la construcción en obras civiles, explotación de concesiones, energía y construcción vial.

Hoy BITUMIX S.A. es la empresa de la especialidad más importante en Chile presente en las principales obras de infraestructura del país.

El gráfico N° 1.1 muestra la participación de la empresa en cuanto a toneladas despachadas, para el año 2006. Se llevó casi un 70% del mercado.

Gráfico N° 1.1: "Participación de mercado"



1.1.2.- Productos

BITUMIX propone diferentes productos para el pavimento de las carreteras:

- Mezclas asfálticas en caliente: compuestas por áridos procesados, cemento asfáltico y, eventualmente, aditivos. Estas mezclas pueden utilizarse en la construcción de áreas deportivas, aceras peatonales, calles, avenidas, carreteras, autopistas, estacionamientos, plataforma de carga, pistas de aeropuertos, zonas portuarias y autódromos, entre otros. Su aplicación completa la estructura superior de los caminos, impermeabiliza las capas de apoyo, otorgando comodidad y seguridad al usuario.

- Mezclas asfálticas funcionales: se utilizan principalmente a nivel de capa de rodado sobre estructuras bien dimensionadas o como recapado asfáltico en estructuras sanas. Su utilización mejora la adherencia del neumático al pavimento, disminuye el ruido al interior y exterior del vehículo, evita las proyecciones de agua en tiempos de lluvia, entre otras ventajas del producto.

- Lechadas asfálticas: son mezclas en frío utilizadas principalmente para la mantención de pavimentos, recuperando y restaurando sus características.

- Mezcla de color: carpeta compuesta por áridos especiales, asfalto puro y un aditivo colorante de origen mineral.

1.1.3.- Equipamiento

- Plantas asfálticas: en la actualidad BITUMIX cuenta con 18 plantas asfálticas distribuidas a lo largo del territorio nacional. Gracias a estas instalaciones, en los últimos 10 años la empresa ha logrado construir más de 3.000 kilómetros de caminos de alta calidad. La más reciente adquisición de BITUMIX es la planta Intrame RM 350 que actualmente funciona en las instalaciones de la empresa en la comuna de Maipú. Esta planta es capaz de producir 350 toneladas/hora.

Adicionalmente, 12 plantas chancadoras de 60 a 100 ton/hora permiten la producción de áridos necesaria para completar eficientemente la elaboración de mezclas para los diversos requerimientos del mercado.

- Maquinarias: para el buen desarrollo de su trabajo la empresa cuenta con varios tipos de máquinas, entre las cuales se destacan los equipos de colocación, los generadores, los equipos movimientos de tierra y los equipos de transporte.

1.1.4.- Obras y clientes

En los últimos 10 años cerca de 1.500.000 m³ de asfaltos fueron colocados, dando origen a obras ejecutadas para clientes del sector público y privado. Los clientes se clasifican en 2 grandes grupos: los clientes BITUMIX y los particulares; de éstos últimos algunos benefician de un transporte propio así que vienen a la planta recoger su propio pedido, los otros son atendidos por el servicio de transporte de la empresa.

1.1.5.- Actividades de la empresa

BITUMIX S.A. ha estado presente por más de tres décadas en el sector de pavimentos asfálticos chileno, desarrollando productos de calidad, acordes a las constantes exigencias del mercado.

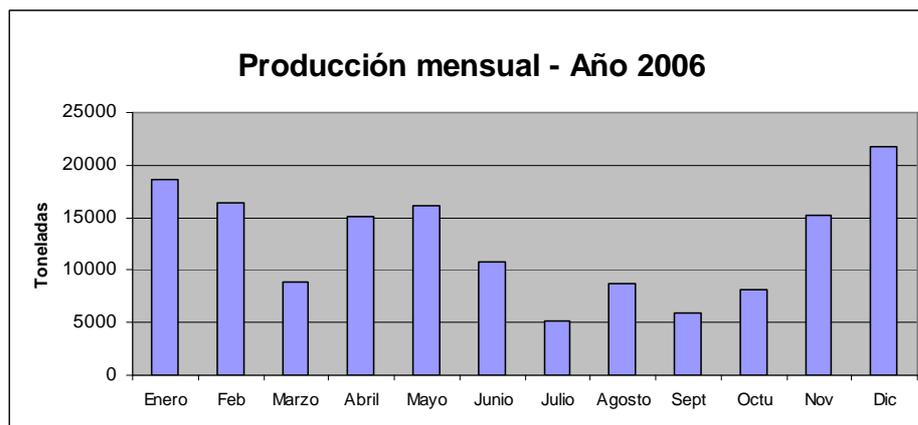
Su actividad se orienta a la producción y abastecimiento de mezcla asfáltica, medida en toneladas.

1.1.5.1.- Producción

Como lo mencionamos anteriormente, la Región Metropolitana dispone de tres plantas asfálticas que producen diferentes tipos de mezcla a lo largo del año. Estas tres plantas se encuentran en Maipú, en Puente Alto y en Puente Verde.

El gráfico N° 1.2 representa la producción mensual de mezcla para la planta Maipú durante el año 2006. La producción puede alcanzar las 20.000 toneladas en verano mientras que se reduce bastante en invierno a causa de la lluvia.

Gráfico N°1.2: “Producción mensual – Planta Maipú”



1.1.5.2.- Transporte

Para transportar las mezclas hasta las obras, BITUMIX utiliza camiones tolva de diferentes capacidades. Estos camiones son subcontratados por la empresa. El número de camiones a disposición de la empresa fluctúa en el tiempo. Actualmente su flota consta de 35 camiones. Cada planta tiene sus camiones atribuidos y al final del día regresan a la planta asignada.

Mi estudio se va a centrar en la planta Maipú (ver Alcances del Trabajo de Título). Esta planta consta actualmente de 12 camiones; esta cantidad puede variar a lo largo de la semana por diferentes razones: pana del camión, chofer no se presenta, utilizado por otra planta, etc.

Sin embargo, al lo largo del estudio vamos a considerar una flota de 12 camiones, y adaptar el modelo a las eventualidades.



Los transportistas son pagados a la cantidad de toneladas despachadas, según la distancia hasta la obra. BITUMIX calcula la distancia de la planta Maipú hasta el centro de la comuna donde tiene lugar la obra, y define un precio por tonelada transportada. Por ejemplo el precio para ir de Maipú a Las Condes es de 1500 \$/ton (por razón de confidencialidad los precios son deformados).

Tabla N°1.1: "Los diferentes camiones y sus capacidades respectivas"

Camiones Planta Maipú		
	Patente	Capacidad (ton)
1	CH-4657	15
2	DJ-9027	14
3	KY-2049	14
4	ND-9734	10,3
5	NK-5940	15
6	NL-4894	15
7	PU-6877	15
8	RR-1493	14
9	RR-1599	15
10	RV-4732	15
11	SR-8029	15
12	WC-7974	15

1.2.- DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El Trabajo de Título a realizar en la empresa BITUMIX S.A. se centra en su totalidad en el Departamento de Logística, específicamente en el sistema de despacho a clientes.

Hace apenas 3 años atrás la programación de los despachos se hacía en forma manual; el encargado se basaba en su criterio, antigüedad y experiencia en programar los despachos diarios y asignar los pedidos para cada obra y para particulares.

Hoy en día la programación se hace con la herramienta computacional Excel pero basándose en los mismos criterios anteriores, o sea con subjetividad. Al ser así el actual sistema de despacho, se encuentran muchos problemas que hacen un sistema ineficiente y que va en desmedro de un buen nivel de servicio que se espera entregar al cliente.

A continuación se describen los principales problemas encontrados en el sistema actual de despacho (los cuales serán detallados en el capítulo 2):

- No existe una programación eficiente en el despacho de mezcla
Como lo vimos anteriormente, el despacho de mezcla de las plantas a las obras y la asignación de cargas a los camiones las realiza un operario de manera arbitraria, lo que trae consigo ineficiencias en el transporte. Algunas ineficiencias son: falta de camiones en algún momento del día, envío excesivo de camiones para una sola obra, espera de otras obras, cola de camiones al momento de descargar la mezcla en obra, etc.
- No existe una programación anticipada
La programación actual se realiza de un día para otro; no hay una visión global, o sea semanal, del trabajo a realizar con respecto al despacho; este tipo de programación no permite anticipar los imprevistos.
- No hay programación de almacenamiento en las plantas lo que provoca atraso al momento de cargar.
- La mayoría de las obras se atrasan en el tiempo, implicando un costo para BITUMIX.
La ineficiente programación implica falta de camiones y por consiguiente, lo que no se despachó el día mismo se atrasa y se despacha uno, dos o tres días después.
- Se atienden pocos clientes al día
El mal uso de los camiones implica también que no se puede atender muchos clientes el mismo día; no se maximiza las toneladas despachadas por día.

1.3.- JUSTIFICACION

BITUMIX es la empresa líder en la producción y construcción de mezclas asfálticas y tiene poca competencia. Sin embargo la coyuntura económica prevee que en los próximos años la competencia aumente en este rubro. Este hecho combinado con una potencial bajada de demanda implica menor actividad para BITUMIX. Entonces si la empresa quiere guardar sus clientes tendrá que ofrecer precios menores; y una manera para seguir con el beneficio actual será de aumentar su producción, o en

otro término, despachar más por día, con una programación eficiente del despacho y sin aumentar su flota de transporte. O dicho de otra manera tiene que despachar lo mismo pero con menos recursos.

BITUMIX ya estudió la posibilidad de contratar más camiones pero dado el costo que esta medida implicaba los gerentes rechazaron la idea. La solución propuesta fue de optimizar el transporte actual con los mismos recursos en el objetivo de maximizar las toneladas despachadas en el día y asegurar un despacho eficiente.

1.4.- OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TRABAJO DE TITULO

1.4.1.- Objetivos del Trabajo de Titulo

A continuación se mencionan los objetivos generales y específicos del Trabajo de Título.

➤ Objetivo general:

El objetivo de este trabajo es diseñar una estrategia de despacho de mezcla en la Región Metropolitana. Esta estrategia debe permitir un aumento de producción y colocación a través de una mejor utilización de los camiones.

➤ Objetivos específicos:

- Realizar un análisis crítico del actual sistema de despacho
- Diseñar una estrategia que permita generar alternativas al programa de despacho y una asignación eficiente de cargas a camiones.
- Evaluar la herramienta propuesta en contraste con la operación actual del sistema de despacho.
- Adaptar el programa para que pueda ser utilizado para varias plantas

1.4.2.- Alcances del Trabajo de Titulo

El estudio de este Trabajo de Título se va a enfocar en:

- Los despachos de mezcla a clientes ubicados en la Región Metropolitana. Vimos que BITUMIX tiene varias plantas repartidas a lo largo del país; sin embargo debido a que la concentración de ventas está en la Región Metropolitana, este estudio se extiende a los clientes ubicados en este sector.
- Los despachos proviniendo de la planta Maipú. Como vimos anteriormente la Región Metropolitana consta de tres plantas asfálticas. Pero el estudio se centrará en la planta Maipú, siendo la más importante de los tres al nivel productivo. El análisis se enfocará entonces en esta planta, pero la estrategia podrá ser extendida a las otras plantas.
- Un modelo determinístico: los tiempos de ida y vuelta hacia las obras serán considerados como dados. Tampoco vamos a considerar los imprevistos en el

modelo (lluvia, pana, etc). Estas consideraciones podrían ser estudiadas en un otro tema de memoria.

1.5.- METODOLOGIA DE TRABAJO

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el método de Investigación de Operaciones, que ocupa el enfoque de Sistema. Las fases de un proyecto de Investigación de Operaciones son las siguientes:

Análisis del sistema en estudio: consiste en examinar el funcionamiento del sistema que se está estudiando, identificando sus componentes internas y externas y las interacciones entre éstas. El sistema que se estudió en esta oportunidad es el área de despacho de BITUMIX.

Formulación de los conflictos de la organización: se trata de identificar aquellos componentes o interacciones que no están funcionando de una manera óptima o adecuada dentro del sistema o subsistema en el cual se centra el estudio. El principal conflicto que se estudió es el mal uso de los camiones implicando la no maximización de las toneladas despachadas por día. Por lo tanto en esta etapa se analiza cuales son las consecuencias de este conflicto que hacen interesante el desarrollo de una herramienta que permita eliminarlos.

Construcción de un modelo: debe incluir la asignación óptima de carga y debe cumplir con el nivel de servicio que se espera entregar al cliente.

Validación del modelo: esta etapa se realizó mediante una comparación con el actual sistema de despacho.

Comparación de los resultados entre un escenario base que incluye las características del actual sistema de despacho con escenarios que incluye características del nuevo sistema.

1.6.- DESARROLLO DEL INFORME

Este informe se presenta dividido en 6 capítulos. Después de la introducción, el segundo capítulo muestra una caracterización del sistema que se estudió. El capítulo tres desarrolla el modelo que nos sirve a mejorar el transporte. El cuarto capítulo presenta una evaluación económica de la implementación del nuevo sistema de planificación. El quinto capítulo contiene la evaluación del modelo propuesto mediante un ejemplo de aplicación en el que se contrasta la operación actual con los resultados del modelo. Y por ultimo, el sexto capítulo muestra las conclusiones del presente trabajo de título.

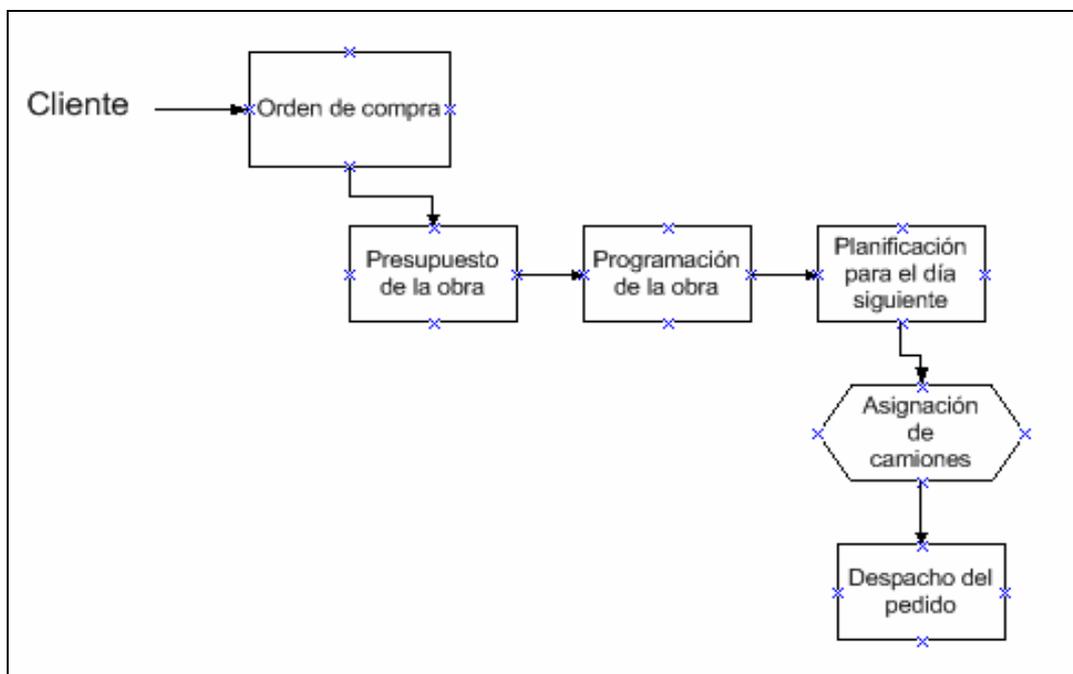
CAPITULO 2 CARACTERIZACION DE LA SITUACION ACTUAL

2.1.- DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO DE DESPACHO

2.1.1.- Ciclo de trabajo de la situación actual

El ciclo general empieza por una orden de compra por parte del cliente. Después de la negociación y aceptación por parte de BITUMIX se inicia la programación de la obra y la planificación. Siguiendo este programa se asigna un cierto número de camiones dependiendo de la cantidad a despachar.

Grafico N° 2.1: "Representación ciclo de trabajo en BITUMIX"



Con respecto a la planificación, cada tarde el encargado de la programación, con la ayuda de los capataces y de los profesionales, establece una planilla Excel para la mañana siguiente, según las diferentes obras que hay y según la disponibilidad de los camiones.

Para calcular el número de camiones necesarios para una obra el encargado de la programación usa una regla bien simple: divide la cantidad de toneladas a despachar por la capacidad promedio de los camiones (o sea 15 toneladas). Así frecuentemente son 10 o más camiones que salen al mismo tiempo para una sola faena.

2.1.2.- Clientes

Existen dos tipos de clientes en cuanto a modo de despacho se refiere: clientes que vamos a llamar "Clientes BITUMIX" y los otros que llamaremos "Clientes Particulares".

2.1.2.1.- Clientes BITUMIX

Son aquellos que la empresa se encarga del despacho de los pedidos enviándoselos a sus respectivos lugares de recepción. En dicho lugar, la obra, son las cuadrillas de BITUMIX que se encargan de hacer el trabajo.

2.1.2.2.- Clientes Particulares

Los Clientes Particulares son de dos tipos: aquellos que retiran sus pedidos con sus propios camiones en la planta Maipú, y aquellos que hacen sus pedidos para uso personal pero que necesitan camiones de BITUMIX para ser despachados.

2.1.3.- Personal BITUMIX

Para realizar las obras, BITUMIX beneficia de 5 cuadrillas en la Región Metropolitana. Estas cuadrillas son dirigidas por los capataces, uno por cuadrilla, y los capataces a su vez son dirigidos por los profesionales; hay 3 profesionales en total para la Región Metropolitana.

2.2.- ANALISIS CRÍTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL: INDICES GENERALES

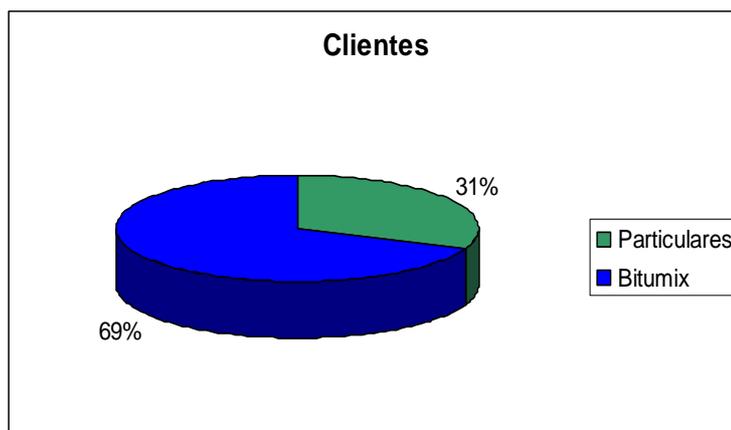
Para entender mejor los puntos críticos de la situación actual, vamos a estudiar algunos índices, que reflejan la ineficiencia del despacho actual. Estos datos se consiguieron comparando las planillas de proyecciones con las planillas de informe que reflejan lo que pasó realmente (ver ejemplo Planilla Proyección y Planilla Informe en el Anexo A y el Anexo B).

2.2.1.- Desviación pedidos

Se estudió para el mes de Abril 2006 (que es un mes promedio en cuanto a la producción) la desviación de los pedidos para los Clientes BITUMIX y los Clientes Particulares. Se entiende por "desviación" la diferencia entre lo que se había pedido y lo que se despachó realmente.

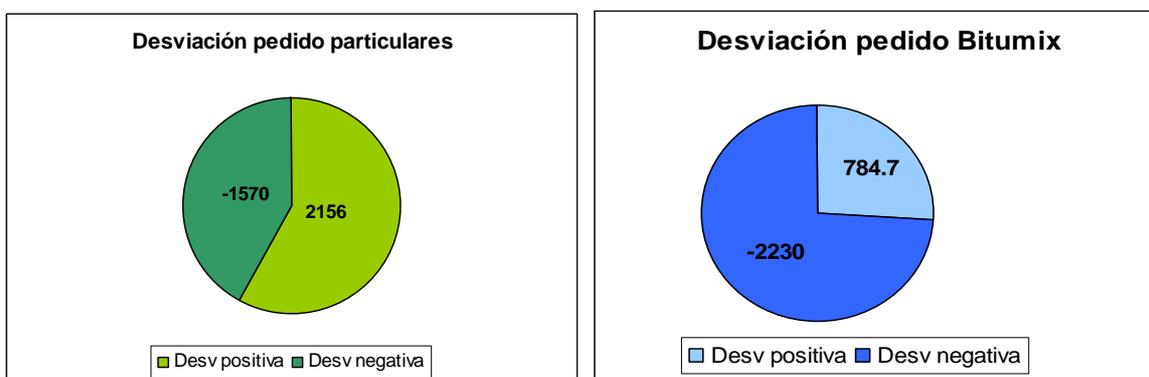
Durante este mes, los Clientes Particulares pidieron 4.900 toneladas, lo que representa un 31% del total de los pedidos, y los Clientes BITUMIX programaron 10.600 toneladas que representan los 69% restantes.

Grafico N° 2.2: "Proporción Clientes BITUMIX-Clientes Particulares con respecto a las toneladas pedidas"



A continuación se muestra la desviación positiva y negativa para cada tipo de cliente.

Grafico N° 2.3: "Desviaciones (en toneladas) para cada tipo de Clientes"



Para los Clientes Particulares se despachó casi 2.200 toneladas más de lo previsto y se anulaban 1.570 toneladas. La desviación positiva (+ 2.200 toneladas) representa un 44% del pedido inicial de estos mismos Clientes y un 14% del pedido total.

Para los Clientes BITUMIX la tendencia es opuesta: se despachó 2.230 toneladas menos de lo previsto y 790 toneladas más. La desviación negativa (- 2.230 toneladas) representa un 21% del pedido inicial de estos Clientes y un 14% del pedido total.

Estas desviaciones se pueden explicar por diferentes razones:

- Para los Clientes Particulares: la desviación negativa se debe a la lluvia, a la postergación del pedido o porque los Particulares llevan menos de lo programado. La desviación positiva se explica principalmente por el hecho de que muchos particulares llegan el día mismo a la planta sin haber sido programado el día anterior. Y eso se contabiliza como una desviación positiva.
- Para los Clientes BITUMIX: el gran problema reside en la desviación negativa. Puede ser debida a la lluvia también, pero sobre todo ocurre

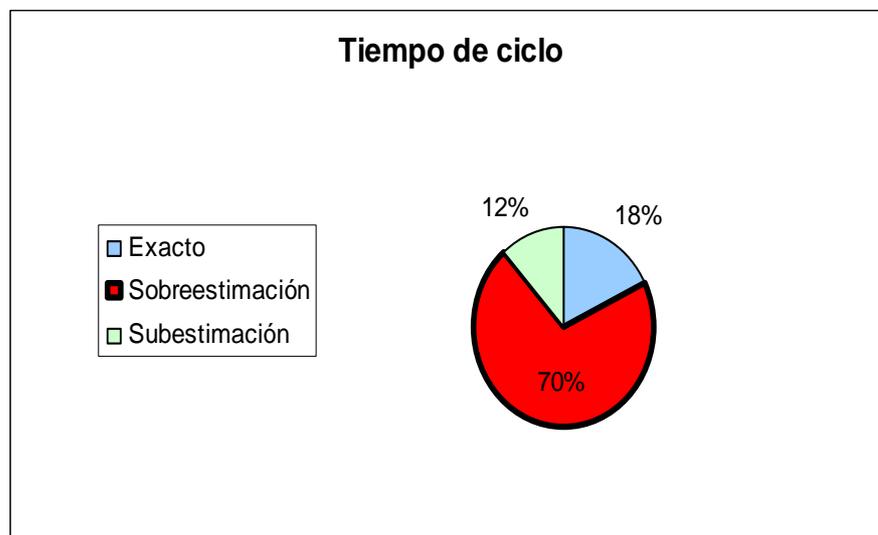
porque existe atraso en la faena, o la cancha no está lista, hay atraso o falta camiones. Y estas 2 últimas razones son las más frecuentes. La desviación positiva ocurre cuando la faena necesita más mezcla.

Entonces con estos datos vemos que se deja de despachar muchas toneladas en el mes por problemas de transporte.

2.2.2.- Tiempo de ciclo

En la programación actual el tiempo de ciclo se calcula como el tiempo de ida más el tiempo de vuelta. No se incluye el tiempo de descarga ni de carga. Recolectando los datos de los meses de Abril, Octubre y Noviembre de 2006, se obtuvo el siguiente gráfico:

Gráfico N° 2.4: "Cálculo de los Tiempos de ciclo"

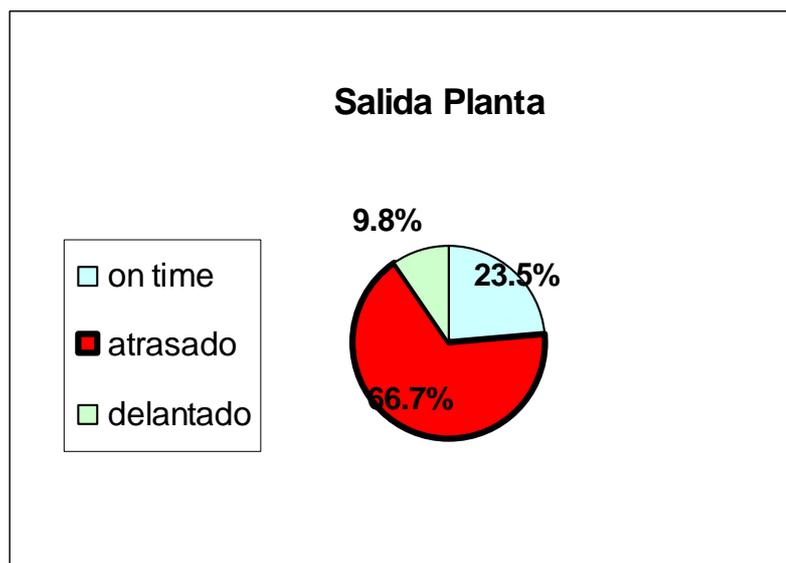


En el 70% de los casos, el tiempo de ciclo es sobreestimado. Significa que si bien el encargado de la programación había previsto un tiempo de ciclo de una hora por ejemplo, en realidad fue menor. Y dentro de estos 70%, el 45%, casi la mitad, es sobreestimado de 30 minutos a una hora; y el 22% es sobreestimado de una hora o más.

2.2.3.- Hora de salida de planta

La programación actual incluye en la planilla un índice que indica la hora a la cual sale el primer camión; no se tiene esta información para los siguientes camiones de la misma tanda. Estudiando los tiempos de salida programados y comparándolos con los tiempos de salida en el informe del día siguiente se ve que casi el 70% de los camiones salen atrasados de la planta (ver gráfico N°2.5)

Gráfico N°2.5: "Hora de salida de planta"



Y dentro de estos 70%, el 44% de los camiones se atrasan más de una hora.

2.2.4.- Hora de término de faena

Otro índice importante es la hora de término de faena. La mayoría de las faenas ocurren durante el día; sin embargo en algunas los trabajadores tienen que operar de noche, o por lo menos después del horario normal (18h). Si excluimos estas faenas, sale del estudio que el 40% de las obras terminan después de las dieciocho y 31% terminan después de las veinte, lo que significa horas extras.

2.2.5.- Horas perdidas

Las obras tienen que desarrollarse en un tiempo definido estimado por los capataces; este tiempo sale en la planilla de programación. Sin embargo el estudio de comparación entre la planilla de proyecciones y la planilla de informe muestra que el 42% de las faenas terminan con dos horas o más de atraso. Por ejemplo si la faena tenía que terminar a las dos de la tarde, termino en realidad a las cuatro o más tarde.

Estos índices (desviaciones pedido, tiempo ciclo mal calculado, salida planta atrasada, horas perdidas) reflejan una mala programación que perjudica a la empresa.

2.3.- ANALISIS CRÍTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL: USO DE LOS CAMIONES

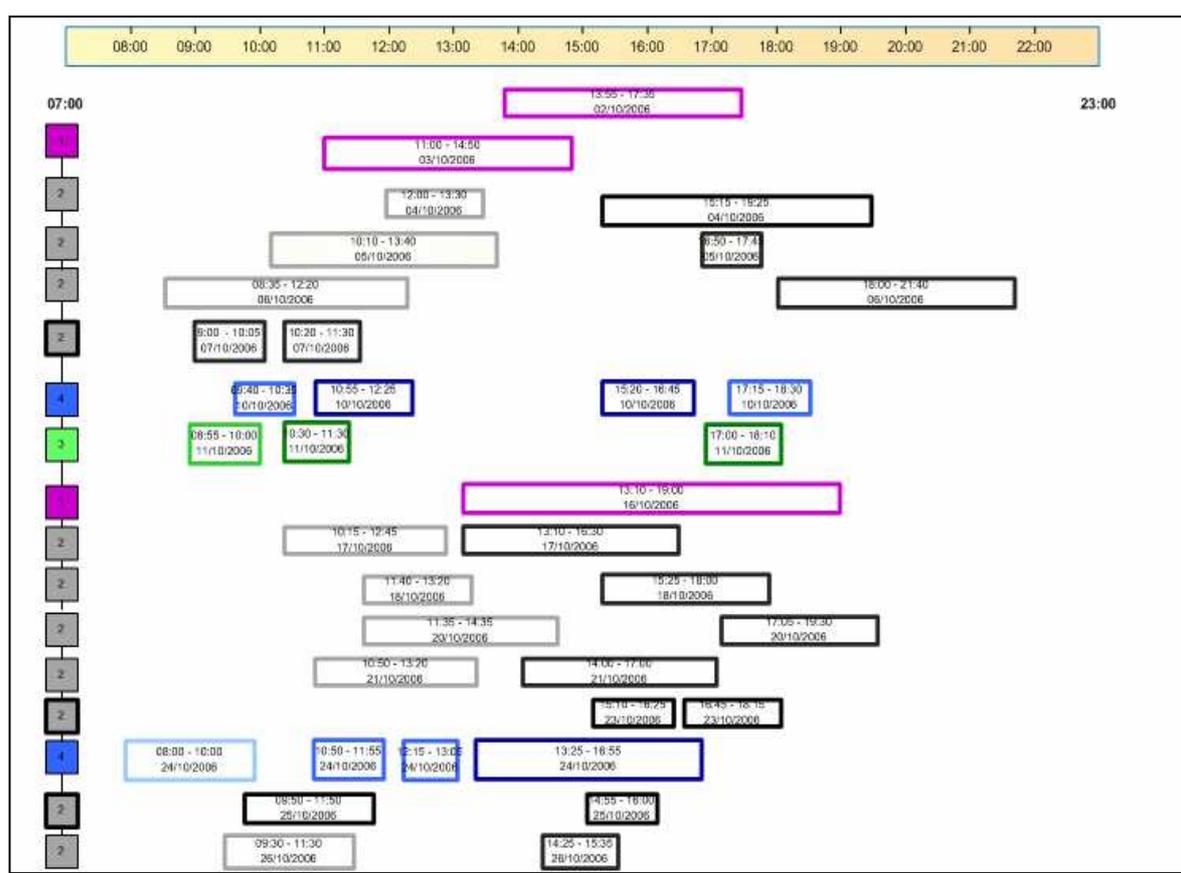
Un punto altamente crítico en el despacho actual es el uso de los camiones. Se usa una regla bastante simple que es de dividir las toneladas a despachar para una faena dada por la capacidad promedio de un camión. Esta regla implica que en la mayoría de los casos se manda un número excesivo de camiones. Frecuentemente se puede ver 12, 13, 14 o 15 camiones saliendo al mismo tiempo de la planta para una misma faena. Algunos resultados del estudio apoyan este hecho:

- Cuando el pedido supera 200 ton
 - en el **91%** de los casos se usan 10 camiones o más
 - en el **40%** de los casos se usan 13 camiones o más
- Cuando el pedido está entre 100 y 150 ton, en el **67%** de los casos se usan 7 o más camiones
- En la mayoría de los casos un camión sale a lo más una o dos veces al día, y muy pocas veces a la misma faena
- No se usa un sistema de ciclo

Para ilustrar mejor aún el problema del uso de los camiones, se estudió la actividad de los camiones. Se entiende por actividad las idas y vueltas de un camión dado durante un mes. Vamos a tomar como ejemplo el camión ND-9734, en el mes de Octubre de 2006. Estudié sus movimientos desde la planta Maipú.

El gráfico N°2.6 representa dicha actividad. A continuación se explica el gráfico.

Gráfico N°2.6: “Actividad del camión ND-9734 durante el mes de Octubre de 2006”



Cada línea representa un día, y los rectángulos representan las salidas del camión, siendo el inicio del rectángulo la hora de salida de planta y el final del rectángulo la hora de regreso a la planta. Los diferentes colores de los rectángulos dentro de una misma

línea significan que el camión no se fue a la misma faena ese día. La escala a la izquierda resume el número de veces que salió el camión durante el día.

Entonces vemos que en la mayoría de los casos el camión sale dos veces por día y casi nunca se va a la misma faena. Además el porcentaje de inutilización del camión por este mes alcanza 49% si se considera un día de 8h a 17h.

Se estudió las actividades de varios camiones, para distintos meses y el estudio arroja resultados similares al gráfico N°2.6.

2.4.- DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A continuación se enumeran las conclusiones obtenidas del análisis, tomando en cuenta los clientes que es necesario satisfacer en el despacho de mezcla, los procesos identificados, los recursos dispuestos para el despacho y las políticas de entrega.

- la programación del despacho de mezcla lo realiza el encargado de la programación dependiendo completamente de él el proceso. La asignación de carga y el número de camiones la realiza manualmente tomando en cuenta solamente su juicio y experiencia. En este sentido, él realiza la repartición y la asignación de los camiones en forma tentativa para tratar de cumplir con el nivel de servicio que se le promete a los distintos clientes.
- actualmente existe un fuerte incumplimiento con respecto al programa. Existe un indicador llamado EFFICIENCIAPROGRAMA. Este índice calcula el ratio entre el número de días programados por una obra y el número real de días que se necesitó para llevar a cabo la obra. Analizando este criterio del 2 de junio de 2005 hasta el 31 de julio de 2006, vemos que el 47% de las obras se ejecutan con más tiempo de lo que se había previsto.
- la idea y lo que espera la empresa es que el despacho de mezcla se pueda cumplir en su totalidad, es decir, contar con un sistema de programación del despacho que sea eficiente y que no vaya en desmedro del nivel o atención que se espera dar al cliente como lo hace el actual sistema de despacho.
- con los camiones disponibles para el despacho de mezcla, el porcentaje de despacho puede completarse en su totalidad en lo que a capacidades se refiere. Actualmente, existen días que camiones destinados para realizar los despachos están estacionados en la planta sin ser ocupados (ver el Gráfico N°2.6 en el cual sale la actividad de un camión) lo que explica la ineficiencia en la programación y despacho.

En la Tabla N°2.1 se presenta un resumen de los índices generales calculados y explicados anteriormente.

Tabla N2.1: “Recapitulativo de los índices general es”

Promedio mensual

Calculado sobre los meses de Abril, Octubre y Noviembre de 2006

Salida planta atrasada		67%
Tiempo ciclo sobreestimado		70%
Clientes atendidos por día		1.5
Termino faena después de 18h		40%
Termino faena con 2h o más atraso		42%
Camiones que salen antes de las 9h		23%
Despacho promedio diario (ton/obras)		150
Desviación pedido Bitumix (ton)	Neg	2000
	Pos	760
Desviación pedido Particulares (ton)	Neg	900
	Pos	1500

CAPITULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA DE DESPACHO

3.1.- VARIABLES CRÍTICAS DE ESTADO

Tras el análisis de la situación actual vamos a entrar en el diseño del sistema de despacho. Para eso hay que analizar primero las dos principales variables críticas que influyen de manera considerable la programación.

3.1.1.- Tiempo de ciclo

Como vimos anteriormente, uno de los grandes problemas actuales que impide una programación ideal es el cálculo del tiempo de ciclo. Por esta razón se estudió más en profundidad este índice.

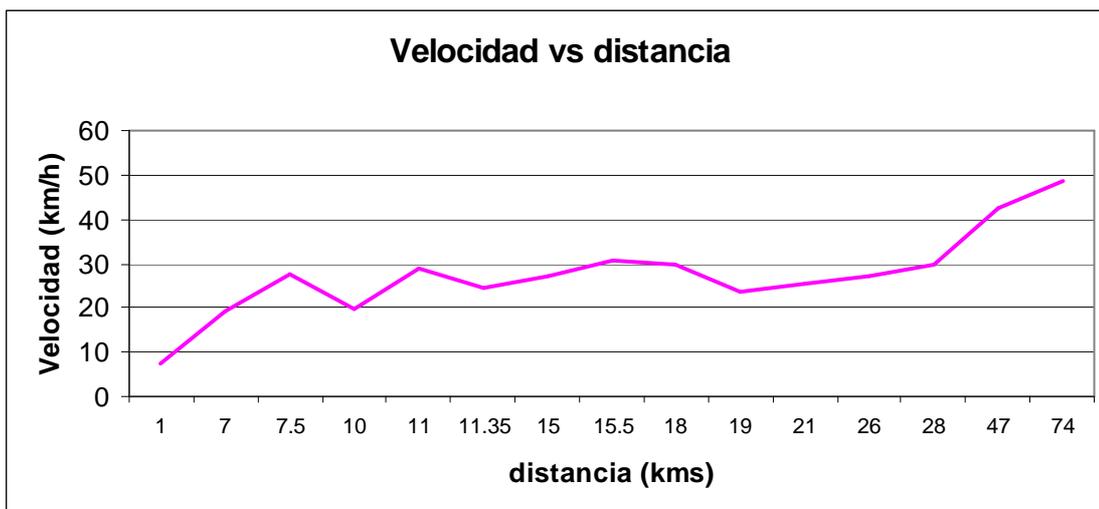
El tiempo de ciclo es el tiempo de ida más el tiempo de vuelta del camión. En la programación actual no incluye el tiempo de descarga. Actualmente se usa una regla bastante simple para calcular los tiempos de ciclo. Se considera que para las faenas que se encuentran entre 0 y 10 kilómetros de la planta el tiempo de ciclo es una hora. Si la faena se encuentra entre 11 y 20 kilómetros entonces se considera que el tiempo de ciclo es de una hora y media, y así sucesivamente, como se ve en la tabla N°3.1.

Tabla N°3.1: “Tiempo de ciclo en función del kilome traje”

	0-10	11-20	21-50	51-80
Tiempo Ciclo	01:00	01:30	02:00	04:00
Tiempo ida	00:30	00:45	01:00	02:00

En la Planilla Informe (Anexo B) sale el tiempo de salida de planta real del camión y también la hora real de llegada en faena. Entonces como se conoce la distancia Planta-Faena, se pudo deducir la velocidad. Recolectando datos de los meses de Abril, Octubre y Noviembre de 2006 se analizó la velocidad en función de la distancia para varios camiones.

Gráfico N°3.1: “Velocidad en función de la distancia”



Del gráfico N°3.1 sale que más lejos está la faena, más elevado es el promedio de la velocidad. Lo que es normal porque cuando el camión se va lejos tiende a usar autopistas o vías rápidas; mientras que si el camión se queda cerca sufre más los efectos de los semáforos y tráfico en general.

De ahí se dibujó un diagrama de dispersión que asocia a cada distancia las velocidades de los camiones que corresponden. (Anexo C)

Gracias a este gráfico se destacó dos grupos distintos: el primer grupo considera las faenas que se encuentran entre 0 y 30 kilómetros de la planta. Se calculó el promedio de las velocidades dentro de este grupo, que resulta ser de 30 km/h. El segundo grupo considera las faenas que se encuentran entre 30 y 80 o más kilómetros de la planta. También se calculó el promedio de las velocidades que fue de 45 km/h.

Entonces, en vez de usar la regla actual (ver tabla N°3.1) se propuso la siguiente regla:

Tabla N°3.2: "Velocidad del camión en función de distancia planta-faena"

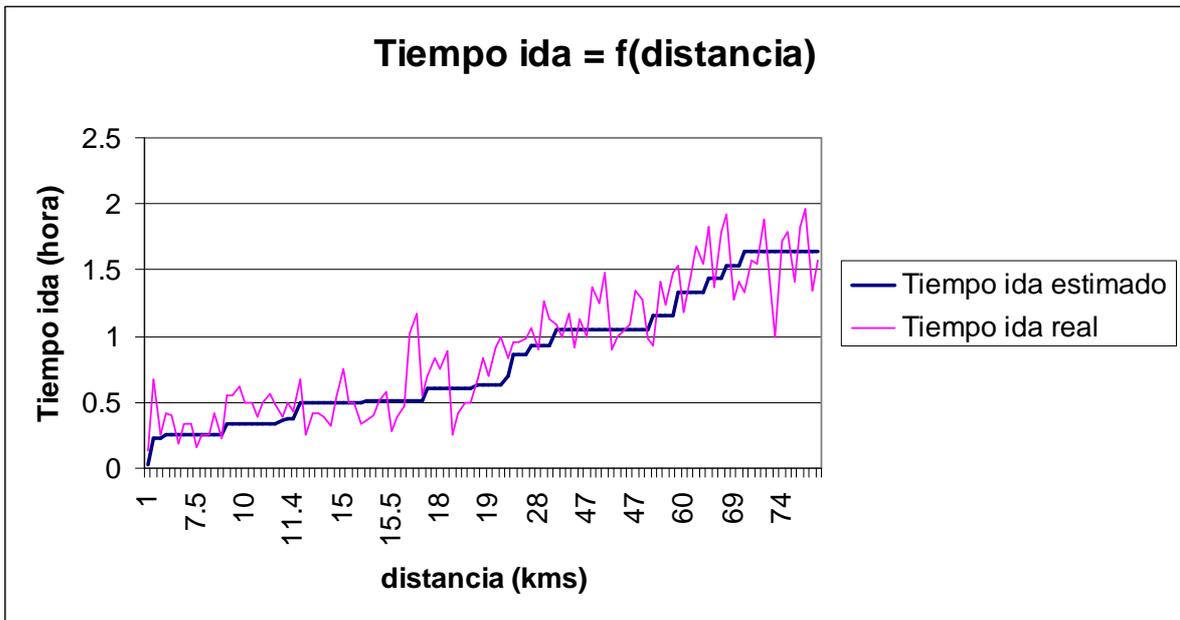
	0-30	30-80
Velocidad	30 km/h	45 km/h

Esta regla dice que si la faena se encuentra entre 0 y 30 kilómetros de la planta, se calcula el tiempo de ida tomando una velocidad promedio de 30 km/h. Y, si la faena se encuentra entre 30 y más kilómetros de la planta, se toma un promedio de 45 km/h para calcular el tiempo de ida.

Para validar la propuesta se graficó el tiempo de ida en función de la distancia, con los datos reales y con la regla propuesta. Para calcular el tiempo de ida estimado se dividió la distancia Planta-Faena por la velocidad, usando la regla de la tabla N°3.2.

A continuación se graficó esta comparación:

Gráfico N°3.2: "Tiempo de ida en función de la distancia"



La línea rosada (o con mayores perturbaciones) representa la situación real. La otra línea representa la situación estimada con la regla propuesta. Dado el buen ajuste de la propuesta a la situación real, se decidió usar esta regla en el modelo de optimización.

3.1.2.- Tiempo de descarga

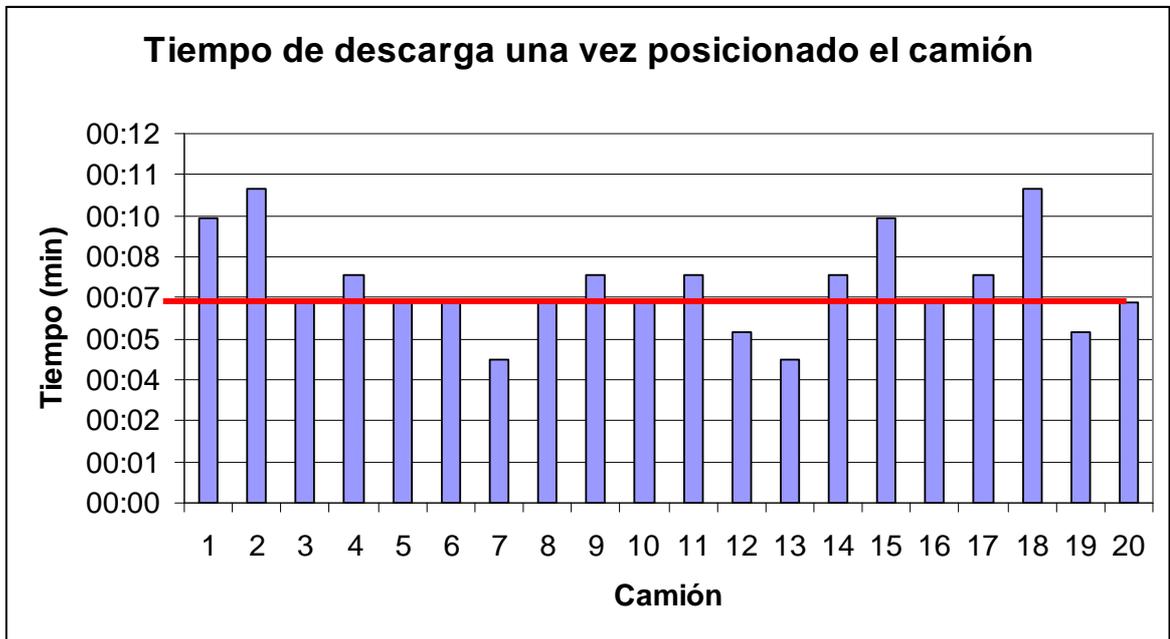
La segunda variable importante de analizar corresponde a las tasas de descarga de mezcla en faena. Dependiendo del lugar, de la mezcla y otros factores este tiempo puede variar. Este tiempo es comunicado al encargado de la programación por los capataces y los profesionales. Pero para una mejor definición se realizó varios análisis en terreno, tomando diferentes tiempos, para ver si existía algunas correlaciones.

Los capataces generalmente piden un intervalo entre camiones de 10, 15 o 20 minutos. Los tiempos de descarga tomados en distintos tipos de terrenos no coinciden exactamente con los valores teóricos de los capataces. Si bien la duración efectiva de descarga puede ser 10 minutos en los terrenos simples el tiempo total de descarga es más elevado. En efecto hay otros tiempos que no se consideran actualmente en el tiempo de descarga pero que sí son relevantes:

- Tiempo para quitar la carpa: para todos los traslados hacia las faenas, los transportistas tienen que cubrir la mezcla con una carpa, lo que sirve esencialmente a guardar una buena temperatura
- Tiempo para posicionarse frente a la terminadora: el transportista tiene que hacerlo marcha atrás
- Tiempo para extraer del camión los restos de la mezcla que quedaron pegados en la tolva

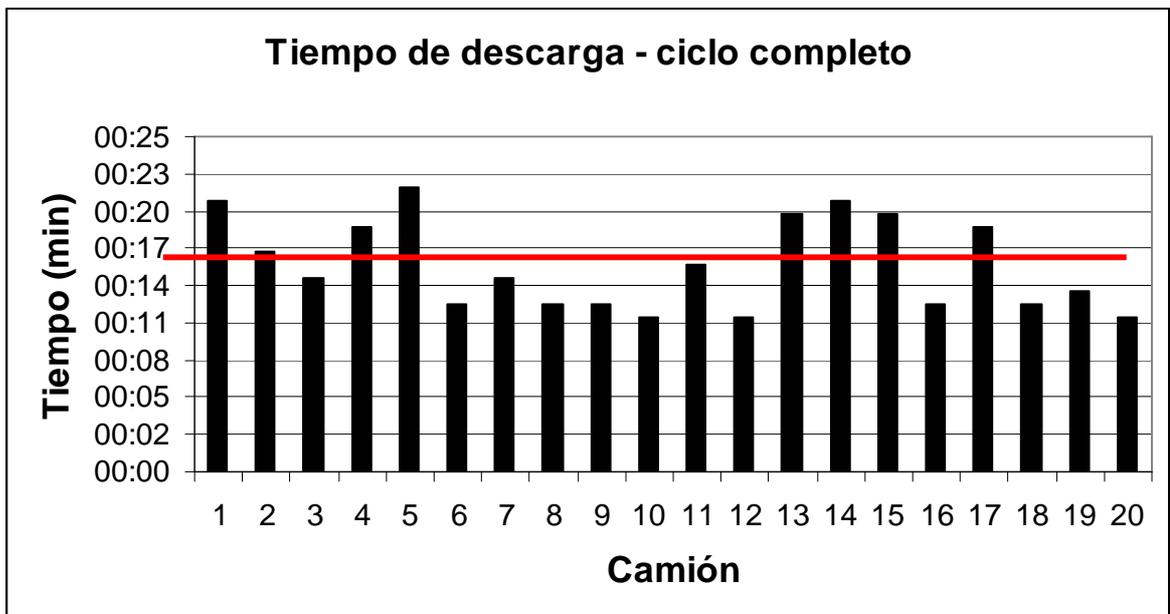
Entonces el tiempo de descarga no es solamente la duración del acto físico de descarga sino que también tiene que incluir los tiempos que vimos más arriba. A continuación vamos a ver una muestra de los tiempos de descarga.

Gráfico N°3.3: “Tiempo de descarga en el sentido actual para terrenos moderados: tiempo entre el momento cuando empieza a descargar hasta que termine de descargar”



El promedio del tiempo efectivo de descarga es de 7 minutos y es igual para todos los terrenos; tampoco varia mucho entre los camiones de distintas capacidades.

Gráfico N°3.4: “Tiempo de descarga para terrenos moderados incluyendo todo el proceso de descarga”



El proceso total de descarga dura en promedio 16 minutos, que el terreno sea fácil de accesibilidad para los camiones o de acceso moderado. Para los terrenos más difíciles hay que aumentar este tiempo, dependiendo del terreno.

Entonces es poco realista considerar tiempos de descargar menores a 10 minutos ya que el simple hecho de descargar dura 7 minutos.

3.2.- CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Uno de los requisitos de la empresa era de generar un programa eficiente para atender eficientemente a los pedidos de las cuadrillas en faena. Primero veamos bajo que supuestos vamos a trabajar y las justificaciones de estos supuestos.

3.2.1.- Supuestos y Justificaciones

3.2.1.1.- Primera etapa de un gran proyecto

El trabajo realizado durante esta memoria es el inicio de un proyecto grande. La parte más urgente para la empresa era de asignar eficientemente los camiones en las obras distintas. Después del fin de esta parte, otro estudiante seguirá con el tema.

3.2.1.2.- Consideración de una sola planta

Como lo mencionamos anteriormente, la Región Metropolitana consta de tres plantas asfálticas: una en Puente Alto, una en Puente Verde y otra en Maipú. Las dos primeras son de tipos “continuo”, lo que significa que cuando se empieza a producir un tipo de

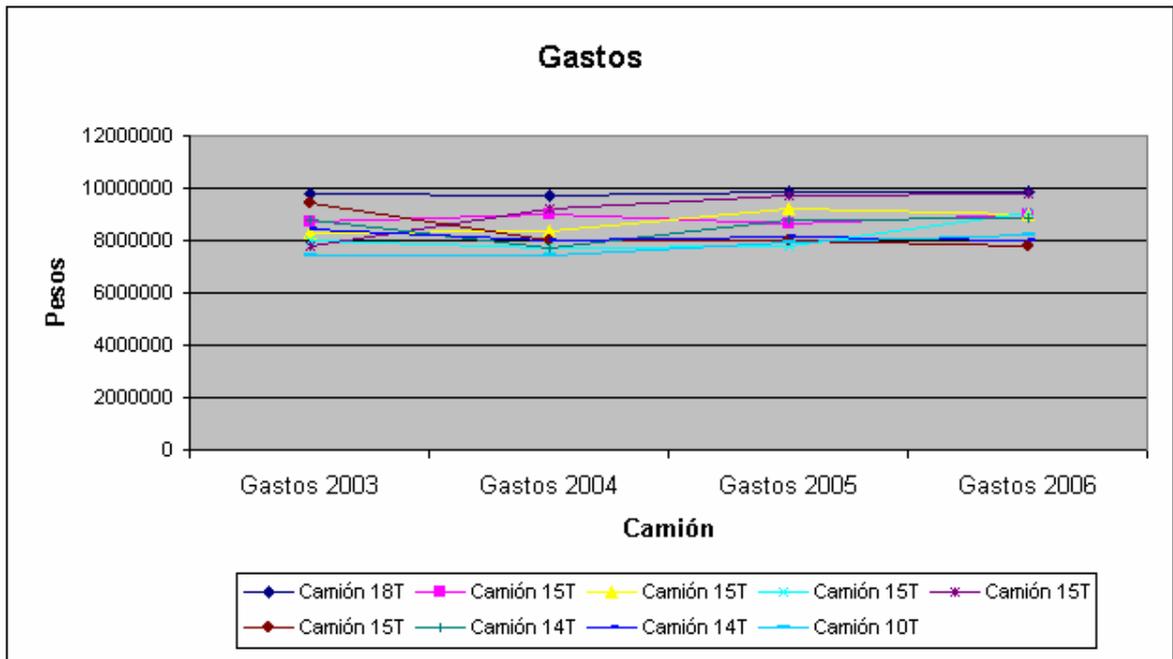


mezcla hay que producirlo por un largo tiempo porque el cambio de mezcla es muy largo y costoso para este tipo de planta. Por lo contrario, la planta Maipú es de tipo “discontinuo” lo que significa que se puede producir todo tipo de mezcla en cualquier momento. Se está desarrollando actualmente un proyecto de unificación de mezcla en Santiago. La idea es tener un punto único de fabricación de mezcla, o sea una sola planta.

Entonces como Maipú es la planta más grande y con tecnología más avanzada se quedarían con ésta. Por eso nos vamos a enfocar en esta planta.

3.2.1.3.- Los costos no influyen en la elección de los camiones

Gráfico N°3.5: “Gastos de los distintos tipos de camiones”

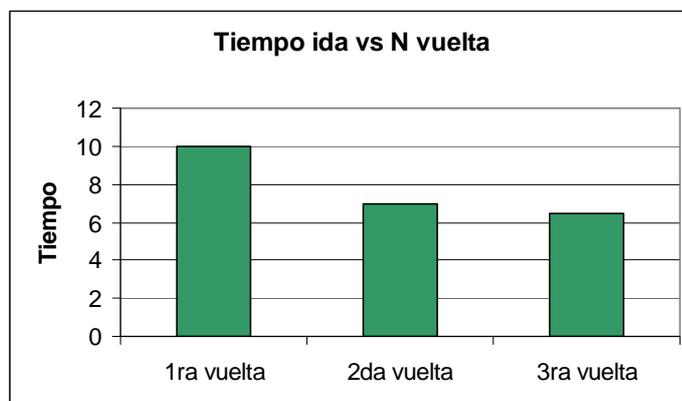


En el gráfico anterior los gastos incluyen la mantención, la depreciación, el seguro, el combustible y la mano de obra. El gráfico muestra que los gastos entre camiones de distinta capacidad son más o menos iguales; de hecho la diferencia de costos no supera el 15% entre dos camiones lo que no representa un dato relevante para la empresa. Entonces no se incluirán los costos de los camiones en la función objetivo.

3.2.1.4.- No se cambian los camiones en las diferentes vueltas de una misma tanda

Cuando un camión va por primera vez a una obra, como no ubica el lugar exacto se demora en llegar. Si este mismo camión regresa a la obra una segunda vez, reduce su tiempo 0.3 veces en promedio. Entonces para remediar a este efecto, y ya que el programa no lo toma en cuenta para calcular el tiempo de ida, se decidió asignar los mismos camiones para una tanda dada.

Gráfico N°3.6: "Tiempo de ida del camión en función del número de la vuelta"



3.2.2.- Diseño del programa de despacho

Uno de los requisitos por parte de la empresa en cuanto al diseño del sistema de despacho era que fuera simple de utilización. Entonces después de haber pensado en varias soluciones, resultó que lo más fácil era que el encargado de la programación sólo tendría que entrar la cantidad de mezcla a despachar, la distancia planta-faena, el tiempo de descarga en faena, tiempo de carga en planta y la hora del primer camión en faena. Y con eso, el programa calcularía el número de camiones necesarios y el número de ciclo por camión.

El nuevo sistema de programación del despacho se representa a través de un modelo de programación matemática esencialmente realizado con el software EXCEL, que permite asignar las cargas automáticamente a los camiones respetando su capacidad y el pedido del cliente, pero también permite entregar una secuencia de las salidas de los camiones, es decir a qué hora salen, donde van, a que hora vuelven a ser disponibles, etc, con el fin de cumplir con el tiempo estipulado de entrega.

3.2.2.1.- Etapas de la construcción del modelo

Primero que nada cabe señalar que el programa fue diseñado para un máximo de 5 vueltas por camión por faena, siendo poco realista considerar más vuelta por un mismo camión para una faena dada.

Además no se pretende hacer más de 10 tandas al día, lo que representa ya un promedio elevado. En efecto el promedio actual es de 2.4 tandas en temporada baja y 4.6 en temporada alta.

Nota: Para todo el estudio es indispensable entender las diferencias entre “Tanda” y “Faena”:

- Faena: una faena es una obra; es el lugar físico donde llegan los camiones. Una faena puede demorar uno, dos, tres, etc días en terminarse.
- Tanda: una tanda es un envío de camiones para una faena dada. Es un grupo de camiones asignado para atender una faena. Sin embargo una faena puede pedir un pedido entregado en varias tandas. Por ejemplo puede pedir 400 toneladas de mezcla, pero una primera tanda de 200 toneladas a las 10:00 y otra tanda de 200 toneladas a las 14:00.

En esta etapa del estudio, hay que recordar que cada tarde los capataces, junto con los profesionales, establecen sus necesidades para el día siguiente. Una vez establecido los requerimientos, cada uno de los capataces los transmite al encargado de la programación.

Entonces para tener una visión global de la programación se decidió que todos los pedidos de los capataces tenían que ser entrados por el encargado de la programación en una misma tabla y que de ahí el programa calculara todo. Esta tabla, bautizada “Tabla de proyecciones” se presenta a continuación.

Tabla N°3.3: “Tabla de proyecciones”

Tabla de proyecciones

	Ton	Dist	T carga	T desc	Cam	Hora en faena	Puede estar a	Cam de otra planta	Se necesita	Regresa
1Tanda	210	15	0.25	0.25	6	8.50	-			
2Tanda	150	10	0.25	0.25	5	10.00	9.00	0	0.00	0.00
3Tanda	137	19	0.25	0.25	8	13.00	13.13	1	12.37	14.88
4Tanda	150	15	0.25	0.25	6	15.00	14.25	0	0.00	0.00
5Tanda	123	10	0.25	0.25	5	16.00	15.47	0	0.00	

Entonces hace falta entrar 5 datos para que el programa empiece a trabajar: la cantidad de toneladas a despachar para cada tanda, la distancia planta-faena (el programa calcula entonces el tiempo de ida), el tiempo de carga en planta, el tiempo de descarga y la hora del primer camión en faena.

Si hay, por ejemplo, sólo 4 tandas programadas para el día hay que borrar los datos de las filas no ocupadas.

Los datos se entran en orden ascendente con respecto a la hora de llegada en faena del primer camión.

En la misma hoja en la cual se encuentra la tabla de proyección, hay que llenar además la lista de los camiones disponibles, con las diferentes capacidades (ver tabla N°3.8). El programa calcula el total de camiones que dispondremos al inicio del día siguiente y el número de camiones de cada capacidad que tendremos; por ejemplo tengo 5 camiones de 15 toneladas, 4 camiones de 14 toneladas y 3 camiones de 10 toneladas.

Tabla N°3.4: "Lista de camiones disponibles"

Camiones disponibles en Maipu		
Cap		
15	5	
14	4	
10	3	
0	0	
	0	
Total		12

1	CH-4657	15
2	DJ-9027	14
3	KY-2049	15
4	ND-9734	10
5	NK-5940	15
6	NL-4894	14
7	PU-6877	15
8	RR-1493	10
9	RR-1599	14
10	RV-4732	10
11	PQ-1234	14
12	PZ-4563	15

Después de haber entrado estos datos, el programa está listo para funcionar.

El programa se descompone en 10 hojas de cálculo diferentes, una para cada tanda.

El diagrama de flujo que sigue el programa se encuentra en el Anexo D. A continuación se va a detallar este proceso para entender los diferentes pasos.

a) Primera Tanda

A partir de los datos ingresados en la primera línea de la tabla de proyecciones (Tabla N°3.3) el programa arroja en la hoja “1raTanda” el número de camiones que necesitamos para la primera tanda, y el número de vuelta por camión. Además el programa calcula la hora de salida de planta y hora de llegada a faena para cada camión y cada vuelta y la hora a la cual vuelve a ser disponible cada camión. El resultado visual se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Cuadro N°3.1: “Resultados del programa para la 1raT anda”

INPUT		Numero camiones		Numero ciclo por cami	
Toneladas	210	6		3	
Tiempo ida	00:30				
Tiempo Descarga	00:15				
Tiempo Carga	00:15				
Hora salida	08:00				
Hora en faena	08:30				

	Primer ciclo		Segundo ciclo		Tercer ciclo		Cuarto ciclo		Quinto ciclo		Disponibilidad	Hora	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
	Salida planta	Llega faena											
1	08:00	08:30	15	09:30	10:00	15	11:00	11:30	15			Disp a	13:30
2	08:15	08:45	15	09:45	10:15	15	11:15	11:45	15			Disp a	13:45
3	08:30	09:00	10	10:00	10:30	10	11:30	12:00	10			Disp a	14:00
4	08:45	09:15	15	10:15	10:45	15						Disp a	12:45
5	09:00	09:30	15	10:30	11:00	15						Disp a	13:00
6	09:15	09:45	15	10:45	11:15	15						Disp a	13:15
7												Disp a	
8												Disp a	
9												Disp a	
10												Disp a	
11												Disp a	
12												Disp a	

Para calcular el número de camiones y el número de vuelta, se procede de la siguiente manera:

Sea D la demanda (cantidad a despachar en toneladas)

Sea Tc el tiempo de ciclo

Sea Tdesc el tiempo de descarga de la mezcla en faena

Sea CapProm la capacidad promedio de la flota de camiones (en toneladas)

Sea N el número de camiones

Sea V el número de vueltas

Número Camiones: **N = MIN (D/CapProm; Tc/Tdesc)**

O sea si antes de que el primer camión vuelva a la planta hubo tiempo de despachar todo el pedido, se realiza una sola vuelta y el número de camiones se calcula como la cantidad a despachar dividida por la capacidad promedio de la flota.

En el caso contrario, hay que calcular cuantos camiones pueden salir antes de que vuelva el primero, lo que se hace dividiendo el tiempo de ciclo por el tiempo de descarga en faena. En efecto el horario de salida de planta depende del tiempo de descarga en faena. Si el capataz estima que un camión se va a demorar 20 minutos en descargar en terreno entonces los camiones en planta salen cada 20 minutos, dado que sólo se puede despachar un camión tras otro.

Se elige este número que pretende minimizar los camiones a mandar en terreno para siempre asegurar una disponibilidad máxima para las otras tandas o faenas. En el capítulo de validación se destacará los resultados de esta elección.

Número vueltas: $V = D/(N*CapProm)$

El número de vuelta por camión se deduce del número de camiones que usamos (N). Hace falta dividir la demanda por el número de camiones multiplicado por la capacidad promedio.

Como se trabaja con enteros, N y V se redondean al entero superior para asegurar la satisfacción de la demanda.

La obtención del cuadro N°3.1 es una heurística de nuestro sistema porque toma en cuenta una única capacidad, que es la capacidad promedio de la flota. Sin embargo no todos los camiones tienen la misma capacidad. Entonces, la idea, en un segundo paso, es asignar de manera eficiente los camiones con sus respectivas cargas. La meta de esta asignación es minimizar el número total de vueltas por tanda respetando la cantidad de mezcla a transportar. Por ejemplo si se pide 207 toneladas, en vez de usar sólo camiones con 15 toneladas de capacidad, se puede usar camiones de 10, 14 o 18 toneladas para minimizar las vueltas totales y así liberar más rápidamente los camiones para asegurar una disponibilidad para las otras faenas

El algoritmo de esta optimización se detalla en el punto 3.2.2.2.

b) Segunda Tanda

Una vez realizado el paso anterior, hay que preocuparse de la segunda tanda. El programa calcula el número de camiones y de vueltas de la misma manera que anteriormente. Siguiendo con la lectura del diagrama de flujo vemos que se nos presentan 2 posibilidades:

- Si el número de camiones que necesitamos para la segunda faena es inferior o igual el número de camiones que nos queda, entonces no hay problema, se optimiza al igual que la primera faena, asignando de manera óptima las cargas de los camiones.
- Sin embargo, si el número de camiones que necesitamos es superior al número de camiones que nos queda de la primera tanda, la regla, para respetar la hora de entrega del pedido, es enviar primero los x camiones que nos queda y analizar la hora de salida del camión x+1. Si la hora de salida del camión x+1 es inferior a la hora de regreso del primer camión de la primera tanda, entonces se necesita camiones de otra planta para satisfacer a tiempo la demanda. Pero si el primer camión de la primera tanda regresa antes de que tenga que salir el camión x+1, entonces se usa éste y los siguientes que regresan.

Como existen 2 casos muy distintos para esta faena, se decidió crear dos hojas diferentes en el programa; una que se llama "2Tanda" y la otra que se llama

“2bisTanda”. El programa anuncia por sí solo en que hoja hay que ir después de la hoja “1raTanda”.

Si se da el caso de que hay que usar camiones de otra planta, el programa lo calcula automáticamente.

c) Tercera, cuarta, quinta, sexta, etc Tanda

Después de conocer la repartición y horarios de los camiones de las 2 primeras tandas, pasamos a la tercera. A partir de esta tanda, se usan los camiones en el orden de vuelta a la planta para asegurar una rotación adecuada de los camiones. Entonces el programa clasifica en orden ascendente las horas de llegadas a planta de los camiones con sus capacidades respectivas, y les asigna según este orden para satisfacer el tercer pedido. Como las otras tandas, nos da la hora de salida y hora de llegada a faena para cada camión.

Para las otras tandas, el proceso es exactamente el mismo que para la tercera tanda. Se asignan los camiones según su orden de llegada a la planta así como su capacidad asociada.

Entonces al final el programa arroja 10 cuadros, uno para cada tanda, que indica el número de camiones, el número de vuelta para cada camión, los horarios de salida y de llegada en faena para cada camión y cada vuelta. Para sintetizar, el programa llena también automáticamente un resumen con los 5 cuadros programados; eso sirve para tener una visión global de lo que pasa durante el día.

Además, para simplificar la comprensión y la lectura, se uso un sistema de colores; cada hoja tiene su color propio, que corresponde a una tanda. Así el celeste corresponde a la primera tanda, el amarillo a la segunda, y así sucesivamente.

A continuación se presenta una muestra del cuadro de resumen que arroja el programa:

Cuadro N°3.2: “Resumen de actividad de los camiones”

1Tanda														
Primer ciclo			Segundo ciclo			Tercer ciclo			Cuarto ciclo			Quinto ciclo		
	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena		
1	08:00	08:30	15	09:30	10:00	15	11:00	11:30	15					
2	08:15	08:45	15	09:45	10:15	15	11:15	11:45	15					
3	08:30	09:00	10	10:00	10:30	10	11:30	12:00	10					
4	08:45	09:15	10	10:15	10:45	10	11:45	12:15	10					
5	09:00	09:30	15	10:30	11:00	15								
6	09:15	09:45	15	10:45	11:15	15								
7														
8														
9														
10														
11														
12														

Toneladas
210
N° Camiones
6
N°Ciclo
3

2Tanda														
Primer ciclo			Segundo ciclo			Tercer ciclo			Cuarto ciclo			Quinto ciclo		
	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena		
1	09:40	10:00	14	10:55	11:15	14	12:10	12:30	14					
2	09:55	10:15	10	11:10	11:30	10	13:25	13:45	10					
3	10:10	10:30	14	11:25	11:45	14								
4	10:25	10:45	14	11:40	12:00	14								
5	10:40	11:00	14	11:55	12:15	14								
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														

Toneladas
150
N° Camiones
5
N°Ciclo
3

3Tanda														
Primer ciclo			Segundo ciclo			Tercer ciclo			Cuarto ciclo			Quinto ciclo		
	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena	Salida planta	Llega faena		
1	12:22	13:00	15	15:08	15:46	15								
2	12:37	13:15	15	15:23	16:01	15								
3	12:52	13:30	15											
4	13:07	13:45	15											
5	13:22	14:00	15											

Toneladas
137

3.2.2.2.- Modelo de asignación

Para resolver el problema de asignación de camiones y carga se decidió trabajar con el software Excel, utilizando la herramienta Solver, que permite resolver problemas de programación lineal.

En efecto, Solver es una de las herramientas más potentes de Excel. Permite hallar la mejor solución a un problema. Con Solver, puede buscarse el valor óptimo para una fórmula de una celda, denominada celda objetivo, en una hoja de cálculo. Solver trabaja con el grupo de celdas que estén relacionadas, directa o indirectamente, con la fórmula de la celda objetivo. Solver ajusta los valores de las celdas variables que se especifiquen, denominadas celdas ajustables, para obtener el resultado especificado en la fórmula de la celda objetivo. Pueden aplicarse restricciones para restringir los valores que puede utilizar Solver en el modelo y las restricciones pueden hacer referencia a otras celdas a las que afecte la fórmula de la celda objetivo.

El modelo pretende minimizar el número de vueltas totales para una tanda lo que asegura una desocupación rápida de los camiones involucrados en una tanda dada.

Entonces, ya teniendo una solución a nuestro problema, se usó esta heurística para desarrollar el modelo siguiente:

Variables:

$$\text{Sea } X_i = \begin{cases} 1 & \text{si camión } i \text{ sale 1 vez} \\ 0 & \text{-} \end{cases}$$

$$\text{Sea } Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si camión } i \text{ sale 2 veces} \\ 0 & \text{-} \end{cases}$$

$$\text{Sea } Z_i = \begin{cases} 1 & \text{si camión } i \text{ sale 3 veces} \\ 0 & \text{-} \end{cases}$$

$$\text{Sea } T_i = \begin{cases} 1 & \text{si camión } i \text{ sale 4 veces} \\ 0 & \text{-} \end{cases}$$

$$\text{Sea } U_i = \begin{cases} 1 & \text{si camión } i \text{ sale 5 veces} \\ 0 & \text{-} \end{cases}$$

Parámetros:

Sea M el número de camiones disponibles en la planta al inicio del día

Sea D la demanda

Sea Cap_i la capacidad o contenido del camión i

Sea N el número de camiones asignados para una tanda dada

Función objetivo:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^M X_i + 2*Y_i + 3*Z_i + 4*T_i + 5*U_i$$

Restricciones:

Respetar la demanda:

$$\sum_{i=1}^M Cap_i * (X_i + 2*Y_i + 3*Z_i + 4*T_i + 5*U_i) \geq D$$

Si el camión i sale una vez, no puede salir 2 o 3 o 4 veces:

$$(X_i + Y_i + Z_i + T_i + U_i) \leq 1 \text{ para todo } i \text{ entre } 1 \text{ y } M$$

Suma de las variables igual al número de camiones N

$$\sum (X_i + Y_i + Z_i + T_i + U_i) = N$$

Naturaleza de las variables:

$$X_i, Y_i, Z_i, T_i, U_i = \left\{ 0; 1 \right\} \text{ para todo } i \text{ entre } 1 \text{ y } M$$

Entonces el programa minimiza el número de vueltas para la tanda, asegurando que los camiones sean disponibles lo más rápidamente posible. En lenguaje Solver, eso se traduce con el siguiente cuadro:

Cuadro N°3.3: “Programa Solver”



Después basta con resolver para que el Solver halle la solución óptima. Solver sirve a decirnos cuantas veces sale cada camión tomando en cuenta su capacidad. Y, con una fórmula adecuada creada con las herramientas de Excel, se asignan dichas capacidades a la heurística que ya habíamos obtenido (ver Cuadro N°3.1).

Este modelo de asignación se utiliza también para la segunda tanda si nos encontramos en el caso destacado en el diagrama de flujo del Anexo D. En efecto si después de la primera tanda nos queda bastante camiones para atender a la segunda tanda, sin esperar la vuelta de los camiones de la primera tanda, se puede asignar los camiones y cargas ya que tenemos más de lo que necesitamos. Pero si no tenemos bastante camiones para atender el segundo pedido, hay que esperar la vuelta de los camiones de la primera tanda o usar camiones de otra planta; pero en este caso salen primero los camiones que quedan en la planta y después los otros; por eso no se usa optimización en este caso ya que el orden es predeterminado.

3.2.2.3.- Macros para facilitar el uso del Solver

Para lanzar el Solver, el mecanismo en Excel es un poco pesado: hay que ir en Herramienta → Solver → Resolver → OK. Entonces, para automatizar este proceso se creó una macro, usando el lenguaje Visual Basic. Ahora hay que apretar simplemente en un botón y el resultado sale directo, sin todos los pasos anteriores. Otra ventaja es que evita al operador modificar los parámetros del Solver (ver código Macro en el Anexo E).



Botón para asignar cargas

PD: A este punto del avance del trabajo se presentó el nuevo programa de despacho al jefe del área ORM (Obras Región Metropolitana). Dado que fue muy satisfecho del resultado me pidió que lo presentara a los profesionales y los capataces.

3.2.3.- Programa para la planta

La organización global del despacho puede funcionar sólo si todas las partes de la cadena están coordinadas. Entonces el programa de despacho que venimos de detallar puede ser respetado sólo si la planta realiza correctamente su parte del trabajo. Por eso era indispensable generar, a partir del programa de despacho hacia las faenas, un programa para la planta, estrechamente relacionado.

Este programa se encuentra al final del libro Excel. A partir de los cuadros de cada tanda (ver Cuadro N°3.1) el programa crea una planilla correspondiente pero en vez de entregar a qué hora sale el camión de planta y a qué hora llega en faena, entrega a qué hora tiene que empezar a ser cargado y a qué hora tiene que salir de planta. Además se creó una tabla donde sale el orden de cargamento para el día independiendo de la tanda.

Este programa para la planta es un esbozo y será desarrollada más profundamente en una memoria posterior.

3.3.- VALOR AGREGADO DEL NUEVO PROGRAMA DE DESPACHO

Vimos que la herramienta descrita anteriormente entrega los horarios de salida de planta y llegada a faena de cada camión, para cada vuelta, así que el orden de salida de planta con una asignación eficiente de carga. Pero el programa permite también integrar algunas restricciones indispensables y además arrojar otros índices muy útiles para una mejor organización. A continuación se detallan estas informaciones:

➤ Restricciones sobre camiones

Ocurre que algunos camiones no pueden ir a todas las faenas. Por ejemplo las bateas por ser mucho más grandes que los otros camiones no pueden alcanzar todas las obras. Entonces hay que señalar al programa esta restricción. Esto se hace en la primera hoja del programa, junto con la tabla de datos y los camiones disponibles. Por ejemplo si tengo 2 camiones de 18 toneladas de capacidad y que no pueden ir a la segunda faena ni la cuarta entonces hay que decir al programa que sólo pueden salir en la primera y la tercera:

Cuadro N°3.4: "Restricciones sobre camiones"

Camiones disponibles		Ton		Solo puede ir en Tanda N°	
18	2	1	18	1	3
15	8	2	18	1	3
14	1	3	15		
0	0	4	15		
		5	15		
		6	15		
		7	15		
		8	15		
		9	15		
		10	15		
		11	14		
Total	11				

El programa no considerará entonces estos 2 camiones para las faenas 2 y 4.

➤ **Cálculo implícito de la hora de almuerzo de los chóferes**

El programa, cuando genera los horarios de salida de planta de los camiones, analiza según el número de vuelta que va a dar el camión y su hora de término para un despacho dado la hora a la cual tiene que almorzar el transportista. Así, a su regreso en planta el programa analiza la hora y decide si tiene que parar o no. Si la hora de llegada en faena del camión en su última vuelta supera 11.25 horas, entonces el chofer se va a almorzar y automáticamente el programa agrega una hora para su siguiente hora de salida.

Ver el método calculatorio en el punto 3.4.

➤ **Cálculo del número de camiones de otra planta que se necesita para satisfacer la demanda a tiempo**

Los capataces y profesionales piden a qué hora requieren la mezcla. Pero para satisfacer la demanda a tiempo se necesita a veces camiones de otra planta, porque se puede dar el caso de que no haya suficientes camiones disponibles en la planta actual para satisfacer a tiempo el pedido. Por eso se integró en el programa una función para calcular cuántos camiones de otra planta se necesita, y a qué hora.

➤ **Cálculo de la hora mínima a la cual puede salir un camión**

Frecuentemente ocurre que los capataces postergan el pedido porque saben que no hay camiones disponibles antes cierta hora. En efecto, como actualmente se envían mucho más camiones de lo necesario, hay obras que esperan que los camiones vuelvan a estar disponibles para ser atendidos. Entonces el programa calcula, con respecto a la hora pedida, a qué hora podría salir el primer camión en una programación óptima. Si la tanda necesita camiones de otra planta, el programa calcula a qué hora saldría el primer camión si no se usaban los camiones exteriores; si la tanda no necesita camiones de otra planta, entonces calcula la hora mínima a la cual puede salir el camión. Eso incentiva los capataces en adelantar su programación.

➤ **Generación de una planilla específica a cada camión**

Si bien el programa genera las planillas para cada tanda (ver Cuadro N°3.2: “Resumen de actividad de los camiones”) éstas no dan informaciones de cuales son los camiones que hacen las diferentes vueltas; en efecto todo el programa se realizó en base a números que no están relacionados con camiones específicos. Por eso, en una hoja separada se generó varias planillas (tantas como camiones hay en la planta) que indican el programa del día para cada camión: su hora de salida de planta y llegada en faena para cada tanda. Cada camión es identificado con su patente. Estas planillas se actualizan automáticamente.

A continuación se presenta como ejemplo la planilla individual para el camión CH-4657, que arroja sus horarios para el día estudiado.

Cuadro N°3.4: “Planilla individual para el camión C H-4657”

CH-4657		1		2		3		4	
1raTanda	2	Salida planta 10:30	llega faena 11:00	Salida planta 12:00	llega faena 12:30				
2Tanda	0								
3Tanda	0								
4Tanda	2	Salida planta 14:45	llega faena 15:15	Salida planta 16:15	llega faena 16:45				
5Tanda	0								

3.4.- ALGORITMOS UTILIZADOS PARA LA PROGRAMACION

Se usaron varios métodos de cálculo en el programa de despacho. Muchas funciones se generaron con las herramientas de Excel, ya que este software ofrece varias formulas que son muy útiles para relacionar las celdas. Algunas funciones responden a un algoritmo definido; a continuación se va a exponer algunos de estos algoritmos:

➤ **Algoritmo para calcular la hora del almuerzo**

Sea HoraLlegaFaena_j la hora de llegada en faena del camión j en su último ciclo de una tanda dada

Sea HoraDispNuevo_j la hora a la cual el camión j está disponible de nuevo, para ir a otra faena

Si HoraLlegaFaena_j > 11.25

$$\text{HoraDispNuevo}_j = \text{HoraLlegaFaena}_j + \text{tiempo descarga} + \text{tiempo vuelta} + 1$$

Si no HoraDispNuevo_j + tiempo descarga + tiempo vuelta

➤ **Algoritmo para calcular si se necesita camiones de otra planta y si se necesita, cuantos se necesitan**

Sea HoraDisp_i la hora a la cual está disponible el primer camión de la tanda i

Sea HoraSalida_i la hora de salida del primer camión de la tanda i

Sea N el número de camiones en total que necesitamos para esta tanda

Consideramos que queremos calcular el número de camiones exteriores que necesitamos para la tanda i:

Si HoraDisp_{i-1} – HoraSalida_i > 0

Min [N; (redondear (HoraDisp_{i-1} – HoraSalida_i)/ tiempo descarga)]

Si no 0

➤ **Hora mínima a la cual puede salir un camión**

Esta hora corresponde a HoraDisp_i (ver párrafo anterior). Si estamos estudiando la tanda i+1, entonces el primer camión de la tanda i+1 puede salir a lo más temprano a HoraDisp_i.

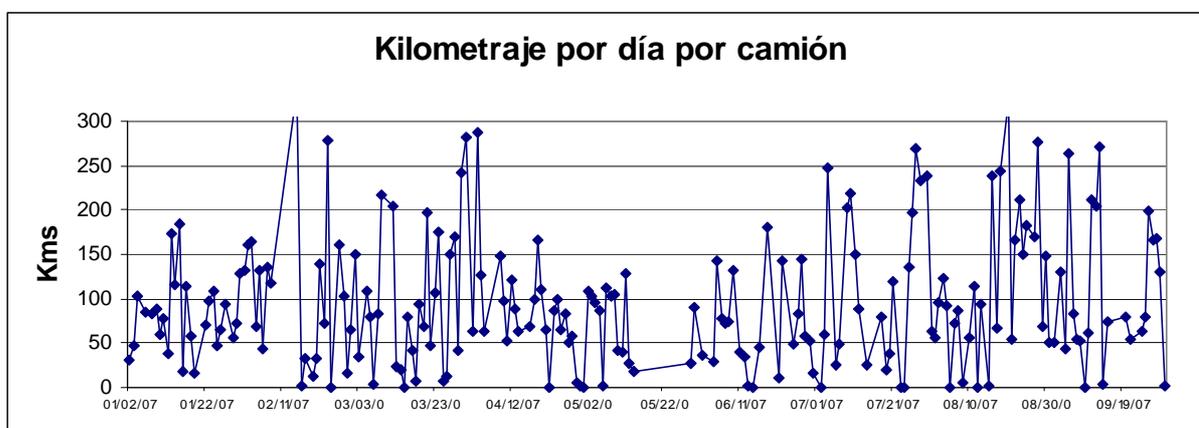
CAPITULO 4 CONSIDERACIÓN ECONOMICA

El objetivo es diseñar una estrategia que permita un aumento de toneladas despachadas. Esta medida implica también un aumento de vueltas por camión y por consiguiente un aumento de kilómetros por camión. Algunos costos, como los de mantención y de combustible, van a aumentar con la nueva estrategia; pero como permitirá despachar más toneladas por día la empresa puede sacar beneficios de toda manera. Vamos a estudiar este trade-off en esta parte.

4.1.- ANALISIS KILOMÉTRICO

Se analizó sobre un periodo de 9 meses y varios camiones los kilómetros realizados en un día. Los resultados se ilustran a continuación:

Gráfico N°.1: "kilómetros realizados por día por camión"



El promedio para el periodo en estudio es de 95 Km. por día. 63% de los días los camiones no superan 100 kms y solamente 20% de los días supera los 150 kms.

En término de toneladas, como lo vimos anteriormente, se despacha en promedio 150 toneladas por obra y son 3 obras en promedio por día. Entonces se despacha en promedio 450 toneladas por día. Considerando la flota actual de 12 camiones más 2 bateas que se usan para los áridos, que hacen cada uno alrededor de 100 kms al día, tenemos que en total se hacen 1400 kms por día, que corresponde a 450 toneladas. Con esta correspondencia vamos a poder estudiar los diferentes costos que influyen en el despacho. Vamos a comparar la situación actual con lo que se podría lograr con una mejor programación.

Vamos a empezar considerando la situación actual, de 450 toneladas al día, y aumentar para ver los efectos sobre los costos.

Tabla N°.1: "Evolución de las toneladas despachadas y el equivalente en kilómetros":

Promedio (ton)	N° faena	Fabricacion /día	Equivalente KMS
150	3	450	1400
200	3	600	1867
300	3	900	2800
400	3	1200	3733

4.2.- ANALISIS ECONOMICO

En este estudio económico vamos a considerar los siguientes costos:

- costos de planta
- costos de mano de obra
- costos de material
- costos de transporte

Para cada una de estas categorías vamos a comparar los costos para 450, 600, 900 y 1200 toneladas y calcular un precio por tonelada para estas diferentes cantidades.

Cabe señalar que la planta tiene una capacidad productiva suficiente para soportar este aumento. En efecto se pueden producir alrededor de 270 toneladas por hora por lo que, considerando una producción efectiva de 7 horas, se pueden alcanzar 1900 toneladas por día.

4.2.1.- Costos de planta

Nota: los precios que van a aparecer en esta parte son deformados por un tema de confidencialidad.

Los costos de planta se dividen en dos partes: amortización y seguro de la planta, y un costo por tonelada producida (que incluye las eventuales reparaciones). Vamos a trabajar en costo al día.

Tabla N°4.2: "Costos de planta"

COSTO PLANTA

	Amortización/ Seguro planta	Costo toneladas	Total	Costo por tonelada
450	\$728,000	\$146,250	\$874,250	\$1,942.78
600	\$728,000	\$195,000	\$923,000	\$1,538.33
900	\$728,000	\$292,500	\$1,020,500	\$1,133.89
1200	\$728,000	\$390,000	\$1,118,000	\$931.67

La amortización queda igual, independiendo de la cantidad producida. Por lo contrario el costo por tonelada aumenta linealmente con el aumento de toneladas producidas. Entonces el total (amortización + costo tonelada) aumenta. Pero el costo por tonelada, calculado como el total dividido por la cantidad, disminuye: más se produce (o despacha) menos cuesta la unidad.

4.2.2.- Costos de mano de obra

Una cuadrilla se compone de un jefe de terreno, un capataz, un maestro y algunos operadores. A continuación se detalla los diferentes costos para las cuadrillas, el total y el costo por tonelada, como en el caso de la planta.

Tabla N°4.3: "Costos de mano de obra planta"

MANO DE OBRA

	Costo al día	Cantidad	Total
Jefe de terreno	54,600	5	\$273,000
capataz	54,600	5	\$273,000
maestro	35,100	10	\$351,000
Operadores	35,100	30	\$1,053,000
			\$1,950,000

	Costo por tonelada
450	\$4,333.3
600	\$3,250.0
900	\$2,166.7
1200	\$1,625.0

De nuevo, más se produce (o despacha) menos cuesta la unidad. En efecto, los salarios de los diferentes agentes no cambian ante un aumento de colocación.

4.2.3.- Costos de material

Para colocar mezcla se necesitan varias máquinas: terminadora, neumático, rodillo liso, camión imprimador, barredora y camión servicio. Tienen un costo por tema de amortización y un costo por tema de combustible. La amortización no cambia si se despacha más, pero se consume más combustible mientras más aumenta la cantidad despachada.

Tabla N°4.4: "Costos de material"

MATERIAL

	Costo al día	Cantidad	Total
Terminadora	\$214,500	5	\$1,072,500
Neumatico	\$59,800	5	\$299,000
Rodillo liso	\$68,900	5	\$344,500
Camion imprimador	\$98,800	3	\$296,400
Barredora	\$58,500	3	\$175,500
Camion servicio	\$32,500	5	\$162,500

\$2,350,400

CARBURANTE MATERIAL

	Consumo al día (L)	Precio por litro	Total
Terminadora	80	385	\$154,000
Neumatico	90	385	\$173,250
Rodillo liso	80	385	\$154,000
Camion imprimador	80	385	\$92,400
Barredora	80	385	\$92,400
Camion servicio	50	385	\$96,250

\$762,300

AUMENTO CONSUMO SI AUMENTA TONELADAS

450	\$762,300
600	\$1,016,670
900	\$1,524,600
1200	\$2,030,100

MATERIAL + CARBURANTE MATERIAL

	TOTAL
450	\$3,112,700
600	\$3,367,070
900	\$3,875,000
1200	\$4,380,500

	Costo por tonelada
450	\$6,917
600	\$5,612
900	\$4,306
1200	\$3,650

Como la amortización representa una gran parte del costo del material y que el costo por tonelada disminuye mientras más se produce en este caso, aún en esta categoría más se despacha menos cuesta la tonelada aunque el costo del combustible aumenta.

4.2.4.- Costos de transporte

Hay datos relevantes sobre los camiones que hace falta tomar en cuenta:

- son utilizados en promedio 20 días al mes, lo que corresponda a 240 días al año
- el costo de amortización es de 12.74 millones de pesos al año lo que corresponde a un costo de 53.000 pesos al día
- y la mantención alcanza los 4.36 millones de pesos al año lo que corresponde a 18.000 pesos diarios
- los resultados son calculados en base a los 14 camiones actualmente disponibles en la planta Maipú (12 destinados al transporte de mezcla más 2 destinados al transporte de áridos).

Estos datos son basados sobre la situación actual, que corresponde a un despacho promedio diario de 450 toneladas. Entonces al aumentar este promedio diario la mantención va incrementarse debido a que los camiones van a hacer más kilómetros. También los gastos en combustible van a aumentar.

En la tabla siguiente se resumen los costos para las diferentes cantidades; el costo de amortización no varía ante el aumento de toneladas; el costo de mantención sí aumenta: mientras más vueltas (o más kilómetros) hacen los camiones mayores son los repuestos o reparaciones y revisiones que hay que hacer.

Tabla N°4.5: "Costos de transporte"

COSTO TRANSPORTE

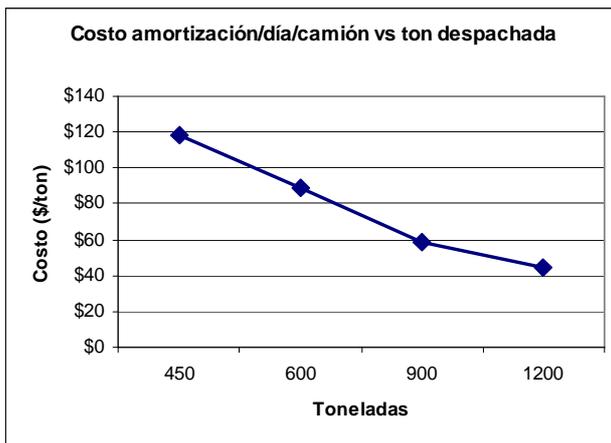
Camión tolva

Ton	KMS	Costo al día Amortización	Costo al día Mantención	Chofer	Cantidad	Total
450	1400	\$53,083	\$18,167	\$27,000	14	\$1,375,500
600	1867	\$53,083	\$24,208	\$27,000	14	\$1,460,083
900	2800	\$53,083	\$36,333	\$27,000	14	\$1,629,833
1200	3733	\$53,083	\$48,500	\$27,000	14	\$1,800,167

	Costo por tonelada
450	\$3,056.7
600	\$2,433.5
900	\$1,810.9
1200	\$1,500.1

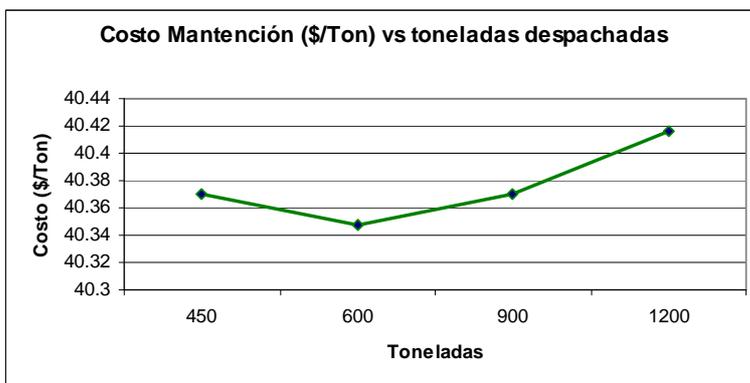
Vamos a ver específicamente lo que pasa para el costo por tonelada para la amortización y para la mantención.

Gráfico N°4.2: "Costo amortización"



Si analizamos el costo de amortización por día, por camión y por tonelada, vemos que decrece en función de la cantidad despachada. En efecto el gasto de amortización es constante y lo dividimos por una cantidad creciente.

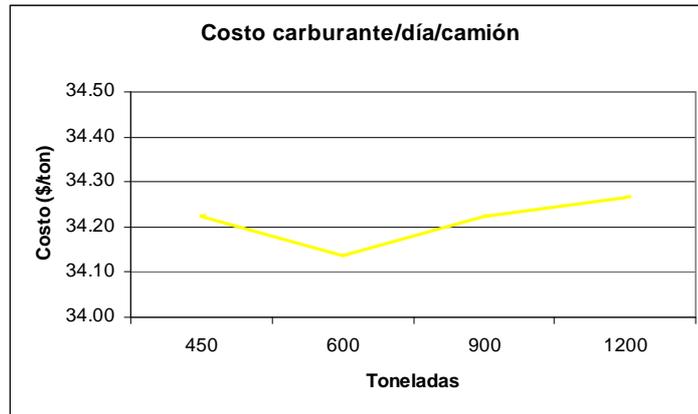
Gráfico N°4.3: "Costo Mantención"



Por lo contrario, el costo de mantención por día, por camión y por tonelada aumenta cuando aumenta la cantidad. Este hecho es debido principalmente a la potencial alta de fallas que ocurren cuando un camión es mucho más usado.

A continuación se grafica los efectos del mayor consumo de combustible. Más vuelta hace el camión (más kilómetros) más consume:

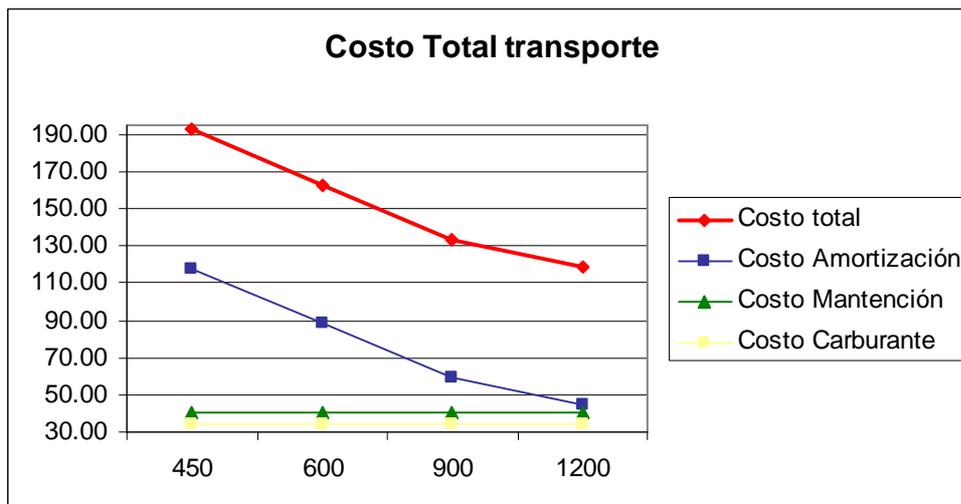
Gráfico N°4.4: "Costo Combustible"



El precio está en pesos por tonelada.

Ahora, si combinamos estos tres parámetros: amortización, mantención y combustible obtenemos el costo total de transporte:

Gráfico N°4.5: "Costo Total de transporte"



Se ve muy bien que aún si aumentan los costos de mantención y combustible, el costo total disminuye cuando se aumenta la cantidad despachada. Eso porque la amortización representa casi los 60% del precio y vimos que este costo disminuye cuando aumentan las toneladas despachadas.

Entonces el costo total de transporte por tonelada (que es la suma de los costos de mantención, los costos de amortización y los costos de combustible) decrece mientras más se despacha en el día. Dado que los otros costos del estudio (costos de planta, mano de obra, material) disminuyen también con la cantidad, los costos totales para la empresa ante un aumento del despacho tiende a disminuir. Es lo que vamos a ver en el siguiente párrafo.

TOTAL= CAMION + CARBURANTE

	Costo por
450	\$3,535.8
600	\$2,911.4
900	\$2,290.0
1200	\$1,979.8

4.2.5.- Costos totales

La siguiente tabla resume los costos por tonelada en los casos donde se despachan 450 toneladas, 600 toneladas, 900 toneladas y 1200 toneladas. Toma en cuenta las diferentes categorías de costos que son: planta, mano de obra, material y transporte.

Tabla N°4.6: "Costos totales"

	COSTO PLANTA	MANO DE OBRA	MATERIAL	TRANSPORTE
	Costo por tonelada	Costo por tonelada	Costo por tonelada	Costo por tonelada
450	\$1,942.78	\$4,333.3	\$6,917.1	\$3,535.8
600	\$1,538.33	\$3,250.0	\$5,611.8	\$2,911.4
900	\$1,133.89	\$2,166.7	\$4,305.6	\$2,290.0
1200	\$931.67	\$1,625.0	\$3,650.4	\$1,979.8

Por lo que sumando cada fila obtenemos el total siguiente:

Tabla N°4.7: "Costos totales incluyendo todas las categorías"

	Costo total por tonelada
450	\$16,729.00
600	\$13,311.50
900	\$9,896.15
1200	\$8,186.93

Así pasando de 450 toneladas por día a 1200 toneladas se reduce el costo de la tonelada de casi un 50%, lo que representa una disminución considerable e interesante en la óptica de enfrentar competencia.

Entonces, aún si en un primer tiempo podemos pensar que el aumento de toneladas despachadas por día implica un costo adicional elevado y no rentable por el tema de aumento de mantención sobre los camiones, en realidad trae un beneficio cierto a la empresa dado que es la amortización que representa el mayor costo en las diferentes categorías y que mientras más toneladas se despacha más es absorbido el costo de amortización.

4.2.6.- Otros costos

Además de este ahorro en el costo de la tonelada, hay otros costos actuales que podrían ser evitables con el nuevo programa. Por ejemplo cuando faltan camiones para atender una obra traen camiones de otra planta; eso tiene un costo de oportunidad. Igualmente, por mala organización y falta de camiones ocurre frecuentemente que no se puede despachar todo lo previsto por un día; estas toneladas quedan pendientes

para la mañana siguiente. Esta situación representa un costo en término de menor ingreso para el día donde no se despachó todo. Vamos a estudiar estos efectos en el capítulo siguiente.

CAPITULO 5 EVALUACION DEL SISTEMA PROPUESTO

Teniendo el programa listo se implementó un día para probarlo. Junto con el encargado de la programación se planificó el trabajo para un día dado. Con este ensayo se pudo arreglar algunas funciones del programa que, tal como era cuando se probó, impedían a la empresa entrar ciertas restricciones muy relevantes. Entonces, antes de implementarlo realmente hizo falta realizar algunas modificaciones:

5.1.- ALGUNAS MODIFICACIONES

5.1.1.- Número de camiones

En un primer tiempo se diseñó el programa para 12 camiones (como lo explicamos en el punto 1.1.5.2), pero es poco realista considerar un número fijo de camiones, y sobre todo, si se quiere usar el programa en otra planta u otro lugar había que tener la oportunidad de elegir el número de camiones al inicio del día. Entonces se hizo las modificaciones adecuadas al programa para tener esta libertad. Ahora se pueden entrar hasta 30 camiones, junto con sus patentes.

5.1.2.- Restricciones sobre camiones

Como lo mencionamos en el punto 3.3, ocurre que algunos camiones no pueden ir a todas las faenas. Entonces había que incluir en el programa una manera de impedir a algunos camiones de ir a tal o tal faena. Esta restricción se entra en la hoja de proyecciones (VER Anexo F): frente a cada camión se entra si hay restricción o no. Si puede ir a todas las faenas no se entra nada, sino se señala por el número de la tanda: si solo puede ir a las tandas 2 y 4 hay que entrar 2 y 4.

5.1.3.- Manual de utilización del programa

Dado los datos y las reglas específicas que hay que respetar para llenar la hoja de proyecciones, se hizo sentir la necesidad de redactar un manual de utilización (Anexo G). La ventaja es que una vez llenada correctamente la hoja de proyecciones, no hay nada más que cambiar ni llenar en el programa.

También se decidió bautizar el programa, para que vuelva a ser familiar para los operadores y que se facilite la comunicación cuando se quiere hablar del programa. Se decidió llamarlo OPS.

5.2.- ANALISIS DE DATOS

Para evaluar el programa y validarlo se escogió un día de prueba correspondiente al 25 de Octubre de 2007. Las características de los clientes correspondientes al día de prueba se muestran en la tabla N°1.

Tabla N°1: "Características de Clientes Pertenece ntes al día de prueba"

CODIGO	CLIENTE	OBRA	TOTAL ESTIMADO (TON)	DISTANCIA planta-faena (KM)
9999	Particular	Con flete	68	15
210-001-07-200	DYCASA	Lomas	300	15
210-001-07-216	PEHENCHE	Doble Almeyda	200	25
210-001-07-200	DYCASA	Lomas	150	15

Constamos para ese día de 2 faenas distintas cuya una pidió ser abastecida en 2 tandas. Además constamos de un cliente particular con un pedido de 68 toneladas a 15 kms de la planta.

Además para ese día disponemos de 14 camiones, cuyas capacidades se encuentran a continuación:

Tabla N°5.2: "Camiones disponibles con sus respectivas capacidades"

1	CH-4657	15
2	DJ-9027	15
3	KY-2049	15
4	ND-9734	15
5	NK-5940	15
6	NL-4894	15
7	PU-6877	15
8	RR-1493	15
9	PP-4587	15
10	ES-9314	15
11	VB-1234	14
12	SD-7892	14
13	CS-4563	14
14	WA-7447	14

La evaluación del modelo se realizará en base al respecto de las exigencias de los capataces (horarios, cantidad) y se calculará el ahorro realizado comparando la modelación y la programación real.

En primer lugar se realizará un análisis de los datos requeridos para alimentar el modelo. Posteriormente se analizará los resultados que entrega el modelo. Luego, se efectuará una comparación de los resultados obtenidos con respecto a la situación real y finalmente se hará un análisis de sensibilidad con respecto a los parámetros del problema.

5.2.1.- Parámetros del problema

Demanda de los clientes

Se refiere a las cantidades de mezcla confirmadas a despachar a los clientes. Se miden en tonelada. La tabla N°5.1 resume las demandas para el día de prueba.

Capacidad de los camiones

Como se señaló anteriormente, disponemos de 14 camiones para el día. La lista de las capacidades se encuentra en la tabla N°5.2.

Tiempo de carga

Corresponde al tiempo que se demoran los camiones en ser cargados, pesados y además incluye el tiempo de espera de la guía de despacho. Este tiempo se considera igual para todos los camiones; en efecto el cuello de botella es el tiempo de espera de la guía mientras que los otros tiempos (cargamento y peso) son cortos para todos los camiones. Según un estudio en planta, el promedio del tiempo total de carga es 15 minutos. Consideraremos este tiempo en la aplicación.

Tiempo de descarga

El tiempo de descarga depende de las condiciones en terreno y no de la capacidad del camión. Estos tiempos son comunicados por el capataz según su experiencia. Sin embargo, según el estudio realizado sobre los tiempos de descarga se recomienda no tomar tiempos menos a 10 minutos, el promedio siendo de 15 minutos. Para las obras del día de prueba que son consideradas de acceso simple para los camiones vamos a tomar un tiempo de descarga de 15 minutos.

Distancia

La distancia corresponde a los kilómetros que separan la planta de la faena. Está calculada tomando las carreteras y no en línea recta. Está expresada en kilómetro y validada con la herramienta Mapcity. Las distancias correspondientes a las diferentes obras se encuentran en la tabla N°5.1. Con estos datos el programa deduce el tiempo de ida $T_{planta,j}$ para un camión que va de la planta a la obra j . El cálculo se basa en la fórmula:

$$T_{planta,j} = \frac{Dist_{planta,j}}{V_{viaje}}$$

Como vimos en el punto 3.1.1. la velocidad depende de la distancia. Si la faena se encuentra entre 0 y 30 kms de la planta entonces se considera una velocidad de 30 km/h, sino se considera una velocidad de 45 km/h.

Hora en faena del primer camión

Los capataces piden la mezcla a distintas horas del día según las necesidades. Para poder organizar las diferentes tandas hay que saber a qué hora se necesita el primer camión de la tanda en la faena. Para el caso en estudio, las horas de inicio son 09:00, 09:00, 11:15 y 14:30 respectivamente.

5.2.2.- Variables del problema

El valor de las variables se obtiene directamente desde los resultados del modelo. A continuación se mencionan:

Número de camiones asignados a cada tanda

El modelo entrega como resultado cuantos camiones se va a mandar para cada tanda. Minimiza este número pero respetando la restricción en faena que los camiones tienen que llegar continuamente, cada 15 minutos.

Número de vueltas que van a dar los camiones para cada tanda

Dado el número de camiones, el modelo entrega el número de vueltas a realizar por parte de los camiones designados, de manera de respetar la demanda.

Carga de los camiones

Gracias al modelo de asignación (que usa la herramienta Solver) el programa asigna las cargas a los camiones de manera de minimizar el número de vueltas totales pero respetando la demanda.

Hora de fin de despacho para cada tanda

Conociendo el número de camiones y de vueltas, y la hora de inicio de la faena, el modelo arroja la hora del último camión de la tanda que llega a la faena. Así se puede conocer a qué hora la cuadrilla va a terminar su trabajo.

Hora a la cual vuelven a ser disponibles los camiones después de haber terminado una tanda

Para cada tanda, el modelo entrega los horarios a los cuales vuelven a ser disponibles los camiones. Gracias a eso calcula las disponibilidades para las tandas siguientes.

Número de camiones exteriores que se necesita

Si ocurre que no quedan bastantes camiones en planta para atender un pedido, el modelo calcula cuantos camiones exteriores (de otra planta por ejemplo) se necesita para poder atender a tiempo la faena.

Planillas de horarios para cada camión

El modelo entrega finalmente planillas de horarios específicos a cada camión que permite a los transportistas saber al inicio del día las obras que van a abastecer. Eso permite una mejor organización del trabajo.

Nota: el ahorro que se obtiene con el modelo no es una variable directa del programa pero se puede calcular indirectamente.

5.3.- ANALISIS DEL RESULTADO

5.3.1.- Detalle sobre el día de prueba

En un primer tiempo vamos a detallar los resultados sobre el día de prueba y después vamos a estudiar el modelo de manera más global, enfocándonos en los resultados sobre una semana entera.

5.3.1.1.- Comparación de las variables

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos a través del modelo, comparándolos con los de la operación real en relación a las variables del modelo. En realidad se va a comparar el número de camiones, número de vueltas y los horarios de llegada en faena. En efecto el actual sistema de despacho no arroja las otras variables que mencionamos en el punto anterior. Con las diferencias encontradas vamos a calcular el ahorro que se pudo generar gracias al implemento del modelo.

Número de camiones asignados a cada tanda

La tabla siguiente compara el número de camiones asignados a cada tanda con el programa y sin el programa. Sin el programa este número es calculado por el encargado de la programación, de manera subjetiva. Como se observa, en la segunda tanda se usan 12 camiones de los cuales 3 vinieron de otro planta. Como faltaban de camiones para atender a tiempo la faena, tuvieron que encontrar otros camiones.

Tabla N°3: "Camiones asignados a cada tanda"

OBRA	PEDIDO (TON)	Número de camiones	
		Sin OPS	Con OPS
Particular	68	5	5
DYCASA	300	9+3	6
PEHENCHE	200	13	9
DYCASA	150	8	6

Número de vueltas que van a dar los camiones para cada tanda

A continuación se comparan las vueltas que hacen los camiones para una tanda dada. Como se puede observar con estas 2 tablas (N°3 y N°4) se usan menos camiones pero más vueltas.

Tabla N°4: "Vueltas por camión por tanda"

OBRA	PEDIDO (TON)	Vueltas por tanda	
		Sin OPS	Con OPS
Particular	68	1	1
DYCASA	300	2	4
PEHENCHE	200	1	2
DYCASA	150	2	2

Hora en faena del primer camión

Debido a que faltaban camiones para atender a tiempo la tercera faena y como ya no beneficiaron de camiones exteriores, tuvieron que esperar el regreso de los camiones

que salieron en las tandas anteriores lo que provocó un atraso en el inicio del trabajo para la tercera y la cuarta tanda. En la tabla N°. 5 se cuantifican estos atrasos.

Tabla N°.5: "Comparación de la hora de llegada del primer camión de cada tanda sin el programa y con el programa"

OBRA	PEDIDO (TON)	Hora del primer camión en faena	
		Sin OPS	Con OPS
Particular	68	09:00	09:00
DYCASA	200	09:00	09:00
PEHENCHE	300	13:15	11:15
DYCASA	150	17:30	14:30

Entonces la tercera tanda se atrasa de 2 horas mientras que la cuarta y última se atrasa de 3 horas.

En el anexo H se muestran las salidas del programa OPS; se expone las diferentes pantallas que representan las planillas de las distintas tandas, con horarios de salida de planta, horarios de llegada a faena, las cargas asignadas a los camiones y las vueltas de cada camión. En el mismo anexo se encuentran también dos planillas de ejemplo que muestran los horarios específicos de cada transportista.

5.3.1.2.- Comparación económica

Vamos a comparar económicamente estos 2 escenarios. En la situación real hay varios costos que hubieran podido ser ahorrados:

- Por una parte, hay un costo de oportunidad debido al uso de 3 camiones de otra planta. En efecto hubieran podido despachar por su planta de origen; el costo de oportunidad se calcula como lo que hubieran podido despachar mientras estaban ocupados en la planta Maipú.
- Por otra parte hay un costo asociado a la pérdida de tiempo de las faenas. Como lo vimos anteriormente, por falta de camiones las cuadrillas no pueden empezar a trabajar a tiempo. La inactividad de la cuadrilla y el hecho de tener los equipos parados tiene un costo para la empresa.

En la situación modelada, no tenemos problema de horarios ni de camiones exteriores. Sin embargo hay un efecto a tomar en cuenta: como los camiones hacen más vueltas, se usan más en el día y eso implica un aumento de la mantención, como lo estudiamos en el capítulo 4.

Primero veamos los distintos índices, para los 2 escenarios:

Tabla N°.6: "Comparación de algunos índices entre los 2 escenarios: situación real y situación modelada"

	Camiones de otra planta	Horas pérdidas	Promedio vueltas	Toneladas no despachadas
Sin OPS	3	2+3	1.7	-
Con OPS	0	0	3.6	-

Se nota que el promedio de vueltas por camión pasa de 1.7 a 3.6: hace más que duplicarse. Este hecho es debido principalmente a que en la situación actual no se usa un sistema de vuelta; se manda un máximo de camiones sin tomar en cuenta de que pueda perjudicar otras faenas. Las horas perdidas corresponden a la diferencia entre las horas de llegada en faena reales y las horas de llegada en faena programadas.

Ahora vamos a ver el equivalente en pesos, en sea cuales son los costos que implican estas diferencias.

Tabla N°.7: "Costos asociados al despacho – comparación entre la situación actual y la situación modelada para el día 25 de Octubre"

	Camiones de otra planta	Horas pérdidas	Promedio vueltas	Toneladas no despachadas
Sin OPS	\$180,000.0	\$625,000.0	\$0.0	\$0.0
Con OPS	\$0.0	\$0.0	\$285,000.0	\$0.0

El costo asociado al aumento del promedio de vueltas por camión es debido esencialmente al aumento en mantención. Se toma como nivel "0" el gasto en mantención asociado a 1.7 vueltas. Entonces los \$285.000 que salen en la tabla N°.7 representan el "delta" entre los 2 escenarios.

Entonces el costo de usar el programa es de \$285.000, lo que corresponde al aumento de la mantención, mientras que el costo de no usarlo es de \$805.000. Por consiguiente el programa permite reducir de un 64.5% los costos.

5.3.2.- Resultados sobre una semana

Sin entrar en el detalle de los parámetros que caracterizan el sistema cada día (toneladas, distancias, tiempo de descarga, hora en faena del primer camión, etc.) vamos a estudiar los resultados obtenidos gracias al programa OPS, comparándolos con la situación real que ocurrió durante la semana del 5 al 9 de noviembre de 2007.

A continuación se compara los siguientes índices: número de camiones de otra planta que se utilizó, horas perdidas debido a la llegada atrasada de los camiones en faenas, promedio de vueltas que dan los camiones en el día y la cantidad de toneladas no despachadas debido al atraso o falta de camiones.

Tabla N°5.8: "Comparación de varios índices con el programa y sin el programa, durante la primera semana de Noviembre de 2007"

		Sin OPS	Con OPS
05/11/2007	Camiones de otra planta	0	0
	Horas perdidas	7	2
	Promedio vuelta	1.6	3.1
	Toneladas no despachadas	100	0
06/11/2007	Camiones de otra planta	4	0
	Horas perdidas	3.5	0
	Promedio vuelta	1.7	3.8
	Toneladas no despachadas	85	0
07/11/2007	Camiones de otra planta	5	0
	Horas perdidas	3	1
	Promedio vuelta	1.8	3.5
	Toneladas no despachadas	0	0
08/11/2007	Camiones de otra planta	0	0
	Horas perdidas	4	1
	Promedio vuelta	2	3.2
	Toneladas no despachadas	150	0
09/11/2007	Camiones de otra planta	0	1
	Horas perdidas	4.5	1.5
	Promedio vuelta	1.7	3.7
	Toneladas no despachadas	220	0

Se nota una fuerte diferencia tanto para el número de camiones de otra planta utilizados como en las horas perdidas. Con el programa OPS también observamos horas perdidas debido al hecho de que la actividad de los camiones en las diferentes tandas implica a veces una ligera postergación del pedido en algunas tandas, porque se esperan el regreso de los camiones en la planta; sin embargo esta postergación no sobrepasa la media hora o la hora para la mayoría de las obras.

A continuación vamos a estudiar el costo de estas medidas (como recurrir a camiones de otras plantas) o el costo de atrasar la faena. También vamos a estudiar el "costo" de no despachar todas las toneladas para una faena dada. En realidad no es un costo sino más bien un menor ingreso para la empresa ese día y también existe un perjuicio en la calidad de servicio percibida por el cliente. Este efecto tiene también un impacto muy importante en el atraso global de la faena. Ocurre con frecuencia que las faenas se demoran lo doble en terminarse de lo que era inicialmente programado. Eso tiene un costo para BITUMIX que suele ser una multa por parte del mandante. Los resultados se resumen en la tabla N°5.9.

Tabla N°5.9: "Costos asociados al despacho – comparación entre la situación actual y la situación modelada para la primera semana de Noviembre de 2007"

		Sin OPS	Con OPS
05/11/2007	Camiones de otra planta	\$0.0	\$0.0
	Horas perdidas	\$875,000.0	\$250,000.0
	Promedio vuelta	\$0.0	\$284,800.0
	Toneladas no despachadas	\$3,500,000.0	\$0.0
06/11/2007	Camiones de otra planta	\$240,000.0	\$0.0
	Horas perdidas	\$437,500.0	\$0.0
	Promedio vuelta	\$0.0	\$300,600.0
	Toneladas no despachadas	\$2,975,000.0	\$0.0
07/11/2007	Camiones de otra planta	\$300,000.0	\$0.0
	Horas perdidas	\$375,000.0	\$125,000.0
	Promedio vuelta	\$0.0	\$261,500.0
	Toneladas no despachadas	\$0.0	\$0.0
08/11/2007	Camiones de otra planta	\$0.0	\$0.0
	Horas perdidas	\$500,000.0	\$125,000.0
	Promedio vuelta	\$0.0	\$134,500.0
	Toneladas no despachadas	\$5,250,000.0	\$0.0
09/11/2007	Camiones de otra planta	\$0.0	\$60,000.0
	Horas perdidas	\$562,500.0	\$187,500.0
	Promedio vuelta	\$0.0	\$292,700.0
	Toneladas no despachadas	\$7,700,000.0	\$0.0

Dado el precio de la tonelada de mezcla, lo que deja de ganar la empresa si no despacha la demanda es muy grande. Se resumen a continuación el total para cada categoría.

Tabla N°5.10: "Costos asociados al despacho para cada categoría"

	Sin OPS	Con OPS
Horas pérdidas	\$2,750,000.0	\$687,500.0
Menor ingreso (ton no despachadas)	\$19,425,000.0	-
Δ mantención	-	\$1,274,100.0
Camiones otra planta	\$540,000.0	\$60,000.0

Las horas perdidas y las toneladas no despachadas son estrechamente ligadas. Como se atrasan los camiones, se atrasa el inicio de la obra y finalmente como es muy tarde no se puede terminar. Las toneladas no despachadas quedan pendientes.

No se puede sumar la categoría "menor ingreso" con las otras porque no reflejan un costo directo para la empresa. Las otras 3 sí son comparables. Si las sumamos en los dos escenarios y las comparamos, obtenemos una diferencia de 38.6%.

Se ve bien que la empresa tiene mucho que ganar si cumple con la demanda programada y además si logra despachar más (como lo vimos en el análisis económico). El respeto de los horarios y de la demanda favorece el aumento de despacho durante el día; en efecto se pueden programar otras tandas u otras faenas y así terminar las obras a tiempo.

Igualmente, con el sistema de vueltas que impone el modelo se puede ahorrar camiones de otras plantas. Este sistema tiene 2 ventajas: permite a la planta que presta los camiones no atrasarse con sus pedidos ya que puede guardar sus camiones a disposición y por otro lado permite disminuir el costo de oportunidad al pedir prestado estos camiones. Además, operando sólo con su flota, los transportistas de Maipú incrementan sus salarios. En efecto, como lo mencionamos en la introducción, los transportistas son pagados en función de las toneladas despachadas. En la situación actual, para la semana en estudio, el promedio de las vueltas por camión es de 1.7. En la situación modelada, durante la misma semana, el promedio es de 3.5.

El promedio hace más que duplicarse de una situación a la otra lo que representa una ganancia relevante para los transportistas. Tienen un incentivo cierto a apoyar esta nueva programación.

Promedio vueltas	
Sin OPS	Con OPS
1.7	3.5

5.4.- ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Se realizó un análisis de sensibilidad con respecto a los 2 parámetros más críticos del modelo: el tiempo de carga y el tiempo de descarga. La demanda de los clientes no varía de un día a otro, o solamente de unas pocas toneladas, lo que no es relevante estudiar. La capacidad de los camiones y la distancia son parámetros fijos, conocidos el día anterior. Por lo contrario el tiempo de carga y tiempo de descarga son tiempos estimados, que están sometidos a la subjetividad de algunos actores.

La estimación de estos parámetros es un asunto complicado; es por eso que es relevante conocer cuan sensible es el modelo con respecto a estos 2 parámetros.

Tiempo de carga

El tiempo de carga no se toma en cuenta en la situación actual. No está incluido en el tiempo de ciclo. En el modelo sí influye ya que entra en el calculo del tiempo de ciclo, que es: tiempo de carga+tiempo de ida+tiempo de descarga+tiempo de vuelta. Intuitivamente podemos pensar que ante un aumento del tiempo de carga, como se alarga el tiempo de ciclo, vamos a necesitar más camiones para las tandas.

Actualmente el tiempo de carga, que incluye carga, peso, temperatura y espera para la guía de despacho, es bastante largo y tiene un promedio de 15 minutos. Sin embargo la planta piensa modernizarse y adoptar sistemas nuevos, sobretodo para disminuir la emisión de la guía de despacho. Entonces vamos a analizar tanto una disminución como un aumento de este parámetro en un 5, 15, 25 y 50% con respecto a la situación modelada anteriormente.

En la tabla N°.11 se muestra los resultados frente al cambio en el tiempo de carga.

Tabla N°.11:” Número de camiones necesarios por tanda ante cambios en el tiempo de carga”

Número camiones

	Base	-50%	-25%	-15%	-5%	5%	15%	25%	50%
1raTanda	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2Tanda	6	6	6	6	6	7	7	7	7
3Tanda	9	9	9	9	9	9	9	9	10
4Tanda	6	6	6	6	6	7	7	7	7

Se aprecia que por variaciones negativas del tiempo de carga, el número de camiones por tanda no cambia. De hecho al disminuir este tiempo, también disminuye el tiempo de ciclo, lo que significa que un camión dado después de una vuelta está disponible de nuevo más temprano. Pero como la salida de los camiones está sujeto al tiempo de descarga y que la variación del tiempo de carga es demasiado pequeña para afectar el número de camiones, la situación no cambia. Se calculó que para disminuir el número de camiones para la tercera tanda por ejemplo, había que disminuir el tiempo de carga de un 70%, lo que por experiencia es poco realista.

En cambio, las variaciones positivas del tiempo de carga afectan el número de camiones para tres tandas. De hecho el número de camiones no puede cambiar para la primera tanda porque hay solamente una vuelta por camión. Para la segunda y la cuarta tanda observamos cambios, ya con una alza de un 5% del tiempo de carga. Como el tiempo de ciclo se alarga, los camiones vuelven a ser disponibles más tarde para las vueltas siguientes, y como se debe respetar el ritmo de salida impuesto por el tiempo de descarga, se necesita un camión más para las vueltas. Para la tercera tanda, solamente a partir de una alza de un 50% observamos un aumento del número de camiones. Este se debe que esta faena se encuentra más lejos de la planta y entonces como el tiempo de ciclo es más largo inicialmente, pequeñas variaciones del tiempo de carga (5, 15 o 25%) no lo afectan.

Ahora podemos analizar los resultados en cuanto al número de vueltas por tanda.

Tabla N°.12: "Número de vueltas por tanda ante cambios en el tiempo de carga"
Número de vueltas por tanda

	Base	-50%	-25%	-15%	-5%	5%	15%	25%	50%
1raTanda	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2Tanda	4	4	4	4	4	3	3	3	3
3Tanda	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4Tanda	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Igualmente observamos que no hay cambios ante variaciones negativas del tiempo de carga. Por lo contrario, para la segundo tanda, mientras que teníamos 4 vueltas ahora tenemos 3. Esto es debido a que el número de camiones aumentó (ver tabla N°.11) y que ahora con 3 vueltas podemos atender esta faena.

Con el aumento del tiempo de carga, el promedio de vuelta por camión disminuye de 3.6 a 3.5. Pero este mismo aumento de tiempo significa un uso mayor de camiones que puede perjudicar algunas tandas a lo largo del día, particularmente para los horarios de llegada en faenas. En nuestro ejemplo no se ve este efecto así que no lo cuantificamos.

Tiempo de descarga

El tiempo de descarga es un parámetro bastante crítico porque está dado por los capataces; entonces depende de su experiencia y del terreno. El estudio que se realizó en terreno sobre los tiempos de descarga arroja que es poco prudente considerar tiempos inferiores a 10 minutos y que en promedio el tiempo de descarga es de 15 minutos. Entonces vamos a estudiar los efectos de una mala estimación sobre este tiempo. A continuación comparamos los distintos escenarios:

Tabla N°5.13: "Comparación de distintos índices ante cambios en el tiempo de descarga"

Número camiones

	Base	-50%	-25%	-15%	-5%	5%	15%	25%	50%
1raTanda	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2Tanda	6	11	8	7	7	6	6	5	5
3Tanda	9	14	12	11	10	9	8	8	7
4Tanda	6	11	8	7	7	6	6	5	5

Camiones de otra planta

	Base	-50%	-25%	-15%	-5%	5%	15%	25%	50%
1raTanda	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2Tanda	0	2	0	0	0	0	0	0	0
3Tanda	0	9	6	4	0	0	0	0	0
4Tanda	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Número de vueltas por tanda

	Base	-50%	-25%	-15%	-5%	5%	15%	25%	50%
1raTanda	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2Tanda	4	2	3	3	3	4	4	5	5
3Tanda	2	1	2	2	2	2	2	2	2
4Tanda	2	1	2	2	2	2	2	3	3

Ante variaciones negativas del tiempo de descarga, se nota un aumento efectivo del número de camiones por tanda. En efecto, como descargan más rápidamente, el intervalo de salida de planta es más corto y como hay que respetar la restricción de llegada continua, hay que mandar más camiones. Además como no hay bastantes camiones en la planta Maipú se necesitan camiones de otra planta. El programa dice que se necesita 9 camiones por ejemplo en la tercera tanda en el caso de una disminución de un 50% del tiempo de descarga. Esta situación no se daría en un caso real porque no se puede disponer de tantos camiones por parte de otra planta, pero habría un efecto combinado: tomar los camiones que se pueden de otra planta y atraso en el inicio de las faenas.

Ante variaciones positivas del tiempo de descarga se nota una disminución del número de camiones por tanda pero un aumento de vueltas por tanda. Eso implica que las faenas terminan más tarde y, aunque no tenga efecto en nuestro ejemplo, este hecho podría implicar un costo para la empresa por concepto de horas extras o necesidades de otros camiones.

A continuación se cuantifica los costos asociados a las variaciones negativas del tiempo de descarga, esencialmente debido al uso de camiones de otra planta.

Tabla N°.14: "Comparación de distintos índices ante cambios en el tiempo de descarga"

	Base	-50%	-25%	-15%	-5%
1raTanda	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0
2Tanda	\$0.0	\$120,000.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0
3Tanda	\$0.0	\$540,000.0	\$360,000.0	\$240,000.0	\$0.0
4Tanda	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0

Una variación de -5% no afecta la solución.

Los costos asociados a las variaciones positivas son más difíciles de medir así que no se van a detallar. Pero son debidos a un aumento de mantención ya que algunos camiones hacen muchas vueltas y, lo que no se da acá pero que podría ocurrir, el uso de otros camiones porque como son pocos camiones asignados a cada tanda, hacen muchas vueltas y terminan tarde así que no podrían ser usados en tandas siguientes.

5.5.- DISCUSION DEL MODELO

5.5.1.- Extensiones al modelo

Como lo mencionamos en los alcances de la memoria, el programa era diseñado en un principio para la planta Maipú. Pero rápidamente se decidió probarlo también en las otras plantas, afuera de Santiago. Entonces se necesitó adaptar el programa para estas plantas. La principal modificación concierne el tiempo de ida. Si bien para la planta Maipú es calculado a partir de la distancia, para las otras plantas no se podía usar este cálculo. En efecto el cálculo se basa en promedios de velocidades que valen sólo para la región metropolitana. Como no se hizo este estudio en las otras regiones, lo mejor era suprimir el cálculo y dejar que el operador entrara directamente el tiempo de ida, según su experiencia.

Ahora vamos a ver algunas extensiones que podrían aportar mejoras al modelo. Existen dos tipos de extensiones: el primer tipo consiste en posibles mejoras al modelo y el segundo en algunas otras aplicaciones que se podría hacer utilizando el programa.

Para mejorar el programa se podría expandir el número de capacidades diferentes que acepta el modelo. En efecto está diseñado hasta ahora para un máximo de 4 capacidades diferentes. Generalmente se usan 2 o 3 diferentes (10, 14 y 15 toneladas por ejemplo) así que tiene holgura para una más. Sería interesante amplificar este número.

Por otra parte, el modelo podría ser mejorado aumentando el número de camiones máximo que están disponibles para un día. Ahora tenemos la posibilidad de tener 30 camiones disponibles, lo que ya es bastante grande porque usualmente disponen de 10 a 15 camiones cada día.

En cuanto a otras aplicaciones, el programa podría ser utilizado para hacer un análisis semanal y estudiar diversas alternativas de despacho, jugando por ejemplo con los horarios en faena, y tratar de suprimir la necesidad de usar camiones de otra planta.

El modelo también podría ser aplicado para saber cuantos camiones se necesitan según la demanda diaria. Así usando estrictamente lo necesario se pueden mandar camiones que sobran a otras plantas.

5.5.2.- Limitaciones del modelo

La solución del modelo que se ha planteado no pretende ser una solución óptima sino más bien una heurística, una estrategia que permite mejorar la situación actual. Por lo tanto no existe seguridad respecto a la optimalidad de la solución que se obtenga a través de su utilización.

El modelo es determinístico. No consideramos aleatoriedad para los parámetros como tiempo de ida, tiempo de vuelta, tiempo de descarga y tiempo de carga. Entonces los efectos tal como lluvia, pana y otros no están tomados en cuenta.

CAPITULO 6 CONCLUSIONES

6.1.- SOBRE EL ESTUDIO

El presente trabajo tuvo como objetivo general diseñar una estrategia de despacho de mezcla para aumentar la colocación diaria a través de una mejor utilización de los camiones.

Para llegar a buen fin se resolvió los siguientes objetivos específicos:

- ❖ Realizar un análisis crítico de la situación actual así que del sistema de despacho

El principal conflicto que se estudió es el mal uso de los camiones implicando la no maximización de las toneladas despachadas por día. Por lo tanto en esta etapa se analizó cuales fueron las consecuencias de este conflicto que hacían interesante el desarrollo de una herramienta que permitiera eliminarlos. Las consecuencias de esta mala programación son varias: desviaciones de pedidos, lo que significa que muchas veces no se logra despachar lo programado, atrasos en faenas, horas perdidas, atrasos en planta, etc. Con respecto al uso propiamente tal de los camiones vimos que había una paradoja sorprendente: la inutilización de un camión por día alcanza los 50% (o sea la mitad del tiempo el camión está parado en planta) mientras que no alcanzan despachar todo en el día. Este hecho es debido a que suelen mandar mucho más camiones de lo necesitado (mandan 14 camiones que dan una sola vuelta mientras que se pueden mandar 6 haciendo dos o tres vueltas). Hay que cambiar la mentalidad con respecto a este asunto.

- ❖ Diseñar una estrategia que permita generar alternativas al programa de despacho y una asignación eficiente de cargas a camiones

Esa fue la parte más larga del estudio porque se creó el programa desde un archivo en blanco. Se decidió trabajar con el software Excel, que es simple de utilización y corriente, para no inducir cambios radicales y correr el riesgo de que el modelo no sea aceptado por los operadores. Excel permite relacionar todas las celdas entre sí, lo que en nuestro estudio fue muy útil porque todo lo que es calculado para una tanda depende de la tanda anterior y así sucesivamente. Se utilizó varias funciones de Excel pre-diseñadas como SI, CONTAR.SI, BUSCARV, SUMAR.SI, INDICE, COINCIDIR, REDONDEAR, REDONDEAR.MAS entre otras. Estas formulas se usaron para calcular el número de camiones por tanda, número de vueltas, ordenar los camiones según su regreso a la planta, calcular a qué hora vuelven a ser disponibles, etc. Para asignar las cargas a camiones se usó la herramienta Solver de Excel. Se desarrolló un Problema de Programación Lineal (PPL) en la meta de minimizar el número de vueltas totales de la tanda. Así se asegura que con un número de camiones mínimo, se hace un número mínimo de vueltas y por consiguiente los camiones vuelven a ser disponibles más rápidamente. Además se creó una macro, en lenguaje Visual Basic, para automatizar el lanzamiento del Solver, lo que facilita el uso para los operadores. El modelo, o programa, bautizado OPS, pesa alrededor de 4MB.

- ❖ Evaluar la herramienta propuesta en contraste con la operación actual del sistema de despacho

Gracias a una implementación del programa se pudo probarlo y validarlo. Los resultados fueron muy explícitos porque sobre una comparación de dos escenarios, uno utilizando el programa OPS y otro con el actual sistema de despacho logramos obtener una reducción de costos de un 38.6% en una semana de estudio. Claramente este resultado tiene que ser validado sobre un periodo más largo para poder generalizar esta cifra. Seguramente en invierno la reducción de costos será menor por lo que en promedio el ahorro será menor a 38.6%.

La comparación de los resultados obtenidos con respecto a la situación real en relación a las variables del modelo muestran diferencias significativas: el número de camiones utilizados por tanda en la programación actual es mayor que en el caso modelado y por lo contrario el número de vueltas por camión es mayor en el caso modelado. El programa OPS calcula el número de camiones mínimo a mandar en faena así como el número de vueltas por camión. En la situación real se manda casi la flota entera para una sola faena, sin usar un sistema de vuelta.

Se hizo un análisis de sensibilidad con respecto a los dos parámetros que influyen mayormente en los cálculos; estos parámetros son el tiempo de carga en planta y tiempo de descarga en faena. Variaciones negativas del tiempo de carga no afectan los resultados mientras que variaciones positivas grandes los afectan (alrededor de un 50%). Para el tiempo de descarga es la tendencia opuesta: variaciones negativas del tiempo de descarga afectan muchos los resultados, sobre todo en cuanto al número de camiones a mandar en obra, mientras que variaciones positivas los afectan de manera más débil. De este análisis de sensibilidad sale que un tiempo de carga o descarga mal estimado puede ser costoso para la empresa así que se recomienda tomar en cuenta el estudio sobre los tiempos de descarga y profundizar él de los tiempos de carga.

❖ Adaptar el programa para que pueda ser utilizado para otras plantas

Aunque el programa fue inicialmente diseñado para las plantas en la Región Metropolitana, particularmente para la planta Maipú se decidió adaptarlo para que sea funcional para las otras plantas en las sucursales de BITUMIX. El cambio para estas sucursales reside en el cálculo del tiempo de ida. Ya no se puede usar el método detallado en el punto 3.1.1 sobre las velocidades sino que el operador tiene que entrar directamente el tiempo de ida estimado.

Conclusión

La estrategia así diseñada permite a la empresa reducir sus costos de manera significativa, pero para eso tendrá que apoyar la implementación y el uso continuo del programa OPS. Es cierto que el cambio de la forma de programar pide esfuerzos adicionales a algunos agentes en el corto plazo pero en el largo plazo esos esfuerzos serán compensados por una mejor organización del despacho, lo que generará beneficios ciertos para la empresa.

6.2.- DE UN PUNTO DE VISTA PERSONAL

Este trabajo de título fue un real aporte del punto de vista personal. Primero me permitió descubrir el “mundo” de las obras públicas. Me di cuenta del desarrollo de los trabajos en terreno, me familiaricé con los actores y las maquinarias. La atmósfera y el ambiente de este sector me gustan mucho, hasta el punto de que pienso en seguir en esta carrera en el futuro.

También me permitió reforzar mi experiencia en el mundo de la empresa. Evolucionar en el seno de BITUMIX fue muy agradable. Las relaciones entre los empleados son muy amistosas y trabajar con ellos fue muy instructivo.

Mi experiencia en BITUMIX fue muy positiva et enriquecedora. Y de nuevo agradezco todo el personal para su acogida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA H.: “Análisis de productividad por equipos de trabajo”, Estudio realizado para la empresa BITUMIX, 2004.
- BONNEAU G.: “Informe del proceso de formación – perfeccionamiento del equipo de colocación de mezcla”, Enero 2005.
- DUCASSE M.: “Fabrication, transport et mise en oeuvre des enrobés bitumineux“, Documento interno, 2004.
- RAVERA E.: “Diseño de sistema de programación del despacho”, Memoria de Ingeniería Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Fisicas y Matematicas, 2002.
- VISCTORIANO M.: “Diseño de una herramienta de apoyo a las decisiones de despacho y ruteo vehicular en un centro de distribución”, Memoria de Ingeniería Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Fisicas y Matematicas, 2000.

ANEXOS

ANEXO A

PLANILLA DE PROYECCIÓN

A: PLANTA MAIPU

CODIGO	CLIENTE	OBRA	TOTAL ESTIMADO	MEZCLA	COMUNA	Tiempo de Intervalo Cam./Min.	Tiempo Ciclo hh:mm
210-001-06-193	BRALONDOS LTDA.	PUERTO SANTIAGO	200	3/4" T.Pesado 2	PUDAHUEL	00:15	1:30
210-001-06-191	HUMBERTO PEREZ	PORTAL BICENTENARIO	184	3/4" T.Pesado 2	CERRILLOS	00:10	1:00
210-001-06-171	EDIFISA LTDA.	VALLE DEL SOL	80	1/2" T. Liv. Calles	PEÑAFLORES	00:15	1:30
210-001-06-191	HUMBERTO PEREZ	PORTAL BICENTENARIO	140	3/4" T.Pesado 2	CERRILLOS	00:10	1:00
210-001-06-193	BRALONDOS LTDA.	PUERTO SANTIAGO	105	3/4" T.Pesado 2	PUDAHUEL	00:15	1:30
210-001-06-171	EDIFISA LTDA.	VALLE DEL SOL	85	1/2" T. Liv. Calles	PEÑAFLORES	00:15	1:30

Capacidad ± Camión Ton./Cam.	Camiones Disponib.	Hora Salida de Planta hh:mm	Hora en Obra hh:mm	Hora final de despacho HF
15	6	8:30	9:00	12:01
15	7	8:45	9:00	11:00
15	6	11:30	12:15	11:56
15	7	13:45	14:00	15:25
15	6	14:00	14:30	15:30
15	6	16:00	16:45	16:30

ANEXO B

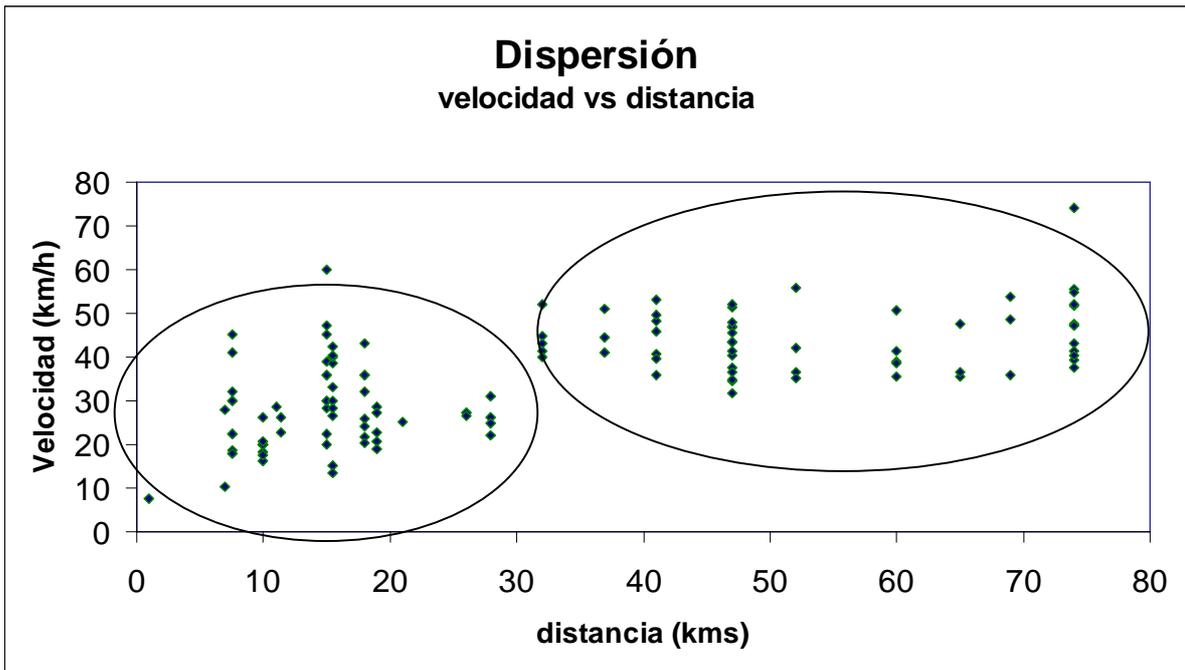
PLANILLA INFORME

PLANTA MAIPÚ

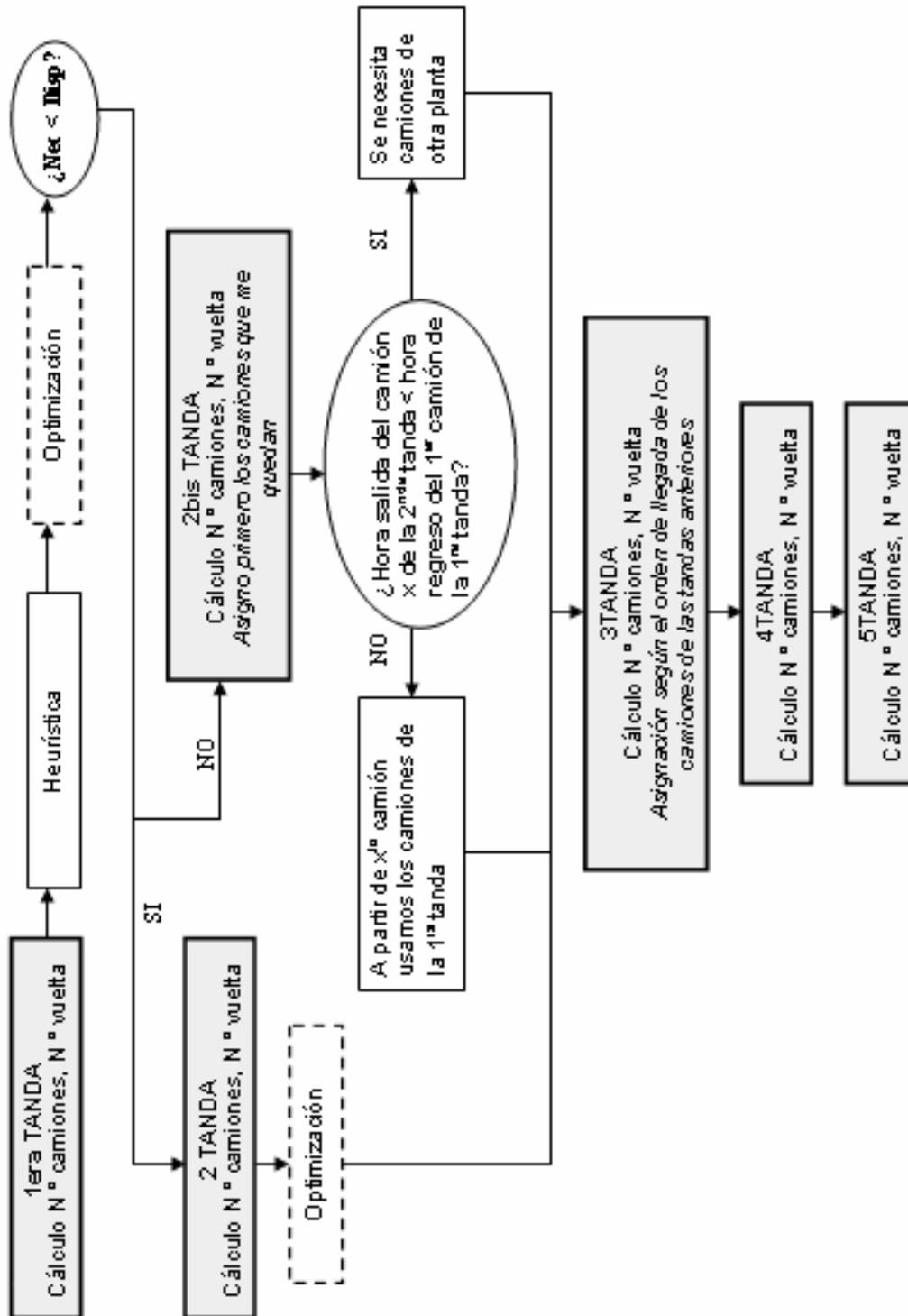
CAPATAZ	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	MEZCLA	TOTAL ESTIMADO Ton	DESVIACIÓN DEL PEDIDO Ton
H.SANHUEZA	210-001-06-193	BRALON DOS LTDA.	PUERTO SANTIAGO	3/4" T.Pesado 2	200	0
P.P.ASTENES	210-001-06-191	HUMBERTO PEREZ	PORTAL BICENTENARIO	3/4" T.Pesado 2	184	4
J.MORALES	210-001-06-171	EDIFISA LTDA.	VALLE DEL SOL	1/2" T. Liv. Calles	80	0
P.P.ASTENES	210-001-06-191	HUMBERTO PEREZ	PORTAL BICENTENARIO	3/4" T.Pesado 2	140	10
H.SANHUEZA	210-001-06-193	BRALON DOS LTDA.	PUERTO SANTIAGO	3/4" T.Pesado 2	105	0
J.MORALES	210-001-06-171	EDIFISA LTDA.	VALLE DEL SOL	1/2" T. Liv. Calles	85	-85
NIN	9999	PARTICULARES	SIN FLETE	3/4" T.Pesado 2	0	60

INFORMACIÓN LOGÍSTICA							
SALIDA DE PLANTA DEL	SALIDA DE FAENA DEL	HORA DE FAENA	HORA TERMINO DE FAENA	TIEMPO DE CICLO	CAMIONES DISPONIBLES	HORAS PERDIDAS	TONELADAS DESPACHADAS
08:25	12:40	09:00	13:30	01:30	12	00:00	201.820
08:40	12:35	09:05	13:15	00:55	9	00:19	189.110
11:40	14:40	12:20	15:30	01:40	6	00:33	80.090
16:46	19:30	17:00	20:20	01:15	11	02:34	151.900
14:40	17:55	15:10	18:35	01:05	8	00:00	104.940
00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	0	00:00	0.000
09:06	SINFORM.	SINFORM.	SINFORM.	SINFORM.	0	SINFORM.	60.350
							788.210

ANEXO C DIAGRAMA DE DISPERSIÓN: ANALISIS DE LA VELOCIDAD EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



ANEXO D DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE DESPACHO



ANEXO E MACRO “ASIGNAR CARGAS”

Sub AsignarCargas()
,

' AsignarCargas Macro

' Macro grabada el 10/12/2007 por BITUMIX S.A.
,

SolverReset

SolverOpciones tiempoMáximo:=100, iteraciones:=100, Precision:=0.000001, _
 estimaciónLineal:=True, valorLógicoPresentar:=False, estimación:=1, _
 derivaciones:=1, buscar:=1, tolerancia:=5, escala:=False, convergencia:=0.0001 _
 , asumirNoNegativo:=True

SolverOk SetCell:="\$H\$37", MaxMinVal:=2, ValueOf:="0",
ByChange:="\$C\$39:\$G\$68"

SolverAdd CellRef:="\$C\$39:\$G\$68", relation:=5, FormulaText:="binario"

SolverAdd CellRef:="\$C\$39:\$G\$68", relation:=4, FormulaText:="integer"

SolverAdd CellRef:="\$F\$34", relation:=1, FormulaText:="\$V\$66"

SolverAdd CellRef:="\$H\$32", relation:=2, FormulaText:="\$T\$2"

SolverAdd CellRef:="\$H\$33", relation:=2, FormulaText:="0"

SolverAdd CellRef:="\$H\$34", relation:=2, FormulaText:="0"

SolverAdd CellRef:="\$H\$37", relation:=3, FormulaText:="\$J\$3"

SolverAdd CellRef:="\$H\$39", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$40", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$41", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$42", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$43", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$44", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$45", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$46", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$47", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$48", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$49", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$50", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$51", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$52", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$53", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$54", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$55", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$56", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$57", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$58", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$59", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$60", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$61", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$62", relation:=1, FormulaText:="1"

SolverAdd CellRef:="\$H\$63", relation:=1, FormulaText:="1"

```
SolverAdd CellRef:="$H$64", relation:=1, FormulaText="1"  
SolverAdd CellRef:="$H$65", relation:=1, FormulaText="1"  
SolverAdd CellRef:="$H$66", relation:=1, FormulaText="1"  
SolverAdd CellRef:="$H$67", relation:=1, FormulaText="1"  
SolverAdd CellRef:="$H$68", relation:=1, FormulaText="1"
```

```
SolverSolve UserFinish:=True
```

```
SolverFinish KeepFinal:=1  
End Sub
```

ANEXO F

HOJA DE PROYECCIONES DEL PROGRAMA

Tabla de proyecciones												
	Ton	Dist	Obra	T carga	T desc	Cam	Hora en	Ultimo llega ca faena a	Puede estar	Cam de otra	Se necesita	Regresa
1Tanda	102	22	Mall Arau	0.25	0.25	7	9.50	11.00	-			
2Tanda	230	15	Lomas	0.25	0.50	4	9.50	16.00	3.00	0		
3Tanda	185	20	Duble Alm	0.25	0.25	8	11.25	14.25	11.25	0		
4Tanda	500	25	Transanti	0.25	0.25	9	14.00	22.50	11.57	0		
5Tanda	185	20	Duble Alm	0.25	0.25	8	14.50	17.50	12.65	0		
6Tanda	300	15	Lomas	0.25	0.25	6	17.00	22.00	14.42	0		
7Tanda	0	0		0.25	0.25	0	0.00	0.00	-	0		
8Tanda	0	0		0.25	0.25	0	0.00	0.00	-	0		
9Tanda	0	0		0.25	0.25	0	0.00	0.00	-	0		
10Tanda	0	0		0.25	0.25	0	0.00	0.00	-	0		

Camiones disponibles		Ton	
18	3	1	CH-4657 18
15	12	2	DJ-9027 18
14	13	3	KY-2049 18
0	0	4	ND-9734 15
		5	NK-5940 15
		6	NL-4894 15
		7	PU-6877 15
		8	RR-1493 15
		9	EE 15
		10	SS 15
		11	TR1 15
		12	TR2 15
		13	TR3 15
		14	TR4 15
		15	TR5 15
		16	TR6 14
		17	TR7 14
		18	TR8 14
		19	TR9 14
		20	TR10 14
		21	TR11 14
		22	TR12 14
		23	TR13 14
		24	TR14 14
		25	TR15 14
		26	TR16 14
		27	TR17 14
		28	TR18 14

Capacidad	
18	3
15	12
14	13
0	0
Total	28

Solo puede ir en Tanda N°

2 4

Capacidad promedio 14.9

ANEXO G MANUAL DE UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA “OPS”

MANUAL DE UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA “OPS”

TABLA DE CONTENIDOS

REQUISITOS

FUNCIONALIDAD

CÓMO USAR EL PROGRAMA

HOJA DE PROYECCIONES

- a. Tabla de Proyecciones
- b. Camiones disponibles
- c. Restricciones sobre camiones

HOJA 1raTANDA

HOJA 2TANDA O HOJA 2bisTANDA

- a. Hoja 2Tanda
- b. Hoja 2bisTanda

HOJA 3TANDA, HOJA 4TANDA, HOJA 5TANDA, ETC

HOJA RESUMEN

PATENTES

PLANTA

RECOMENDACIONES

REQUISITOS

- ✓ Microsoft Office Excel 2003

Para funcionar correctamente se necesita tener la versión de Excel siguiente: **Microsoft Office Excel 2003** o superior. Generalmente los computadores son equipados de la versión 2002. Averiguar abriendo una hoja Excel, ir al signo de interrogación en la barra de herramientas e ir a “Acerca de Microsoft Office Excel”, la última propuesta.

Sin la versión Microsoft Office Excel 2003 o una versión superior algunas funciones del programa deberán realizarse a mano.

- ✓ Nivel de seguridad medio para las macros

Se crearon algunas macros en Excel para facilitar el uso del programa. Un nivel de seguridad alto del libro impide usar las macros entonces hay que poner un nivel medio. Una vez abierto el programa “Ops” Ir Herramientas → Macro → Seguridad y marcar la casilla “Medio”. *Hay que guardar, cerrar el libro y abrirlo de nuevo para que sea efectivo el cambio.*

- ✓ Solver.xla

Para poder funcionar las macros necesitan un complemento que se llama solver.xla. Se puede que no esté activado. Para activarlo, en el mismo programa “Ops” ir a Herramientas → Macro → Editor Visual Basic. Dentro de esta nueva hoja ir a Herramientas → Referencias → Examinar (a la derecha) → en la casilla “buscar en” arriba a la izquierda poner (C:) → hacer clic en Archivos de programas → y Microsoft Office → y Office11 → y Macros → y la carpeta Solver → abajo del cuadro, en Tipos de Archivos poner “todos los archivos” → y hacer clic 2 veces en el archivo que se llama Solver.

En el cuadro “Referencias – VBAProject” aparece el complemento Solver. Aceptar. *Guardar, cerrar el libro y abrirlo de nuevo para que sea efectivo el cambio.*

- ✓ Solver

El programa usa una herramienta de Excel que se llama Solver. Hay que activar esta función en Excel; si no lo está, ir a Herramientas → Complementos y marcar la casilla “Solver”.

Nota: si no se tiene la versión Microsoft Office 2003, no se necesita realizar los pasos 2 y 3 anteriores. El último es obligatorio cual que sea la versión de Office.

FUNCIONALIDAD

El programa OPS está diseñado para organizar los camiones en el despacho. Según los pedidos de las faenas calcula el número de camiones a mandar y el número de vueltas. Trata de minimizar la cantidad de camiones a mandar a una obra para así asegurar otros pedidos que pueden tener lugar al mismo tiempo.

Calcula los horarios de salida de planta y llegada en faena para cada camión y cada tanda, así que la hora a la cual vuelven a ser disponibles los camiones después de haber terminado un despacho.

El programa entrega también una hoja resumen con todos los despachos del día y una hoja donde sale el programa que tiene que cumplir cada camión. Así cada transportista conoce en la mañana sus horarios y sus destinos del día, y puede organizarse mejor.

CÓMO USAR EL PROGRAMA

HOJA DE PROYECCIONES

Llenar primero la hoja de Proyecciones (“Proy”)

a. Tabla de Proyecciones

Es en esta hoja que se ingresan los datos; en todas las otras no hay que cambiar ninguna celda. La previsión se hace el día anterior, para el día siguiente.

En la primera tabla, tabla de proyecciones, cambiar solo los datos en azul (toneladas, distancia (para Santiago) o tiempo de ida (para las sucursales, con el siguiente formato: 11:30), tiempo de ida, tiempo de carga, tiempo de descarga, y hora del primer camión en faena). **Los tiempos se ponen en “hora decimal”: las 10:30 se entran como 10.5.**

Los datos se entran en orden ascendente (1ra Tanda corresponde al pedido que tiene lugar primero en el día, y así sucesivamente). Poner 0 en las filas no utilizadas:

Tabla de proyecciones

	Ton	Dist	T ida	T carga	T desc	Cam	Hora en faena
1Tanda	150	15	0.50	0.25	0.25	6	9.00
2Tanda	130	20	0.67	0.25	0.25	8	10.00
3Tanda	80	20	0.67	0.25	0.25	6	13.00
4Tanda	200	12	0.40	0.25	0.25	6	15.00
5Tanda	0	0	0.00	0.25	0.25	0	0.00
6Tanda	0	0	0.00	0.25	0.25	0	0.00
7Tanda	0	0	0.00	0.25	0.25	0	0.00
8Tanda	0	0	0.00	0.25	0.25	0	0.00
9Tanda	0	0	0.00	0.25	0.25	0	0.00
10Tanda	0	0	0.00	0.25	0.25	0	0.00

Si una faena pide 400 toneladas, pero en 2 tiempos, por ejemplo una primera tanda de 200 toneladas a las 9:00 y una segunda a las 14:00 hay que entrarlo también así en la tabla y no en una sola línea con un pedido de 400 toneladas.

Tabla de proyecciones

	Ton	Dist	T ida	T carga	T desc	Cam	Hora en faena
1Tanda	200	15	0.50	0.25	0.25	6	9.00
2Tanda	200	15	0.50	0.25	0.25	6	14.00

Tabla de proyecciones

	Ton	Dist	T ida	T carga	T desc	Cam	Hora en faena
1Tanda	400	15	0.50	0.25	0.25	6	9.00
2Tanda	0	0	0.00	0.25	0.25	0	0.00

b. Camiones disponibles

En la tabla de los camiones disponibles, llenar el número de camiones que están disponibles en la planta (los que van a salir el día siguiente), la patente, y la capacidad (en toneladas). **Se entran en orden descendente con respecto a las capacidades.** Se puede ingresar hasta 30 camiones;

En la pequeña tabla al lado izquierdo llamada "Capacidad", entrar en la columna izquierda las diferentes capacidades que tenemos en orden descendente (por ejemplo si tenemos 7 camiones de 15 toneladas, 4 de 14 y 2 de 10, hay que entrar 15, 14, 10. La columna derecha calcula automáticamente el número de camiones de las respectivas capacidades que tenemos según lo entrado en la tabla de los camiones disponibles.

Camiones disponibles		Ton	
1	CH-4657	15	
2	DJ-9027	15	
3	KY-2049	15	
4	ND-9734	15	
5	NK-5940	15	
6	NL-4894	15	
7	PU-6877	15	
8	RR-1493	14	
9	EE	14	
10	SS	14	
11	WS	14	
12	AS	10	
13	JJ	10	

Capacidad	
15	7
14	4
10	2
0	0
Total	13

Hasta ahora funciona para 4 capacidades diferentes

c. Restricciones sobre camiones

Ocurre que algunos camiones no pueden ir a todas las faenas. Por ejemplo las bateas por ser mucho más grandes que los otros camiones no pueden alcanzar todas las obras. Entonces hay que señalar al programa esta restricción. Hay un cuadro, a la derecha de los camiones disponibles, llamado "Sólo puede ir en Tanda N°". Las filas en este cuadro corresponden a las filas de los camiones

disponibles. Si tengo por ejemplo 2 bateas de 25 toneladas que sólo pueden ir en la tanda 2 y 3, entonces entro en el cuadro, en 2 celdas diferentes, el número 2 y 3:

Camiones disponibles		Ton		Solo puede ir en Tanda N°	
Capacidad		1	CH-4657	25	
25	2	2	DJ-9027	25	2 3
15	5	3	KY-2049	15	2 3
14	4	4	ND-9734	15	
0	0	5	NK-5940	15	
		6	NL-4894	15	
		7	PU-6877	15	
		8	RR-1493	14	
		9	EE	14	
		10	SS	14	
		11	WS	14	
Total	11				

Los números se entran en orden ascendente. Si el camión puede ir sólo en tanda 1 y 3, se entran 1 y 3 pero no 3 y 1:

Camiones disponibles		Ton		Solo puede ir en Tanda N°	
Capacidad		1	CH-4657	25	
25	2	2	DJ-9027	25	3 1
15	5	3	KY-2049	15	3 1
14	4	4	ND-9734	15	
0	0	5	NK-5940	15	
		6	NL-4894	15	
		7	PU-6877	15	
		8	RR-1493	14	
		9	EE	14	
Total	11				

Estas restricciones son también válidas para imponer al programa elegir un camión de 10 toneladas por ejemplo en la segunda tanda. Si no quiero que el programa lo tome en la primera tanda porque lo necesito en la segunda, entonces entro que un camión de 10 sólo puede ir en Tandas N°2, 3 y 4 por ejemplo:

Camiones disponibles		Ton		Solo puede ir en Tanda N°		
Capacidad		1	CH-4657	25		
25	1	2	DJ-9027	15		
15	10	3	KY-2049	15		
14	1	4	ND-9734	15		
10	2	5	NK-5940	15		
		6	NL-4894	15		
		7	PU-6877	15		
		8	RR-1493	15		
		9	EE	15		
		10	SS	15		
		11	WS	15		
		12	II	14		
		13	YY	10	2	3 4
		14	UU	10		
Total	14					

Hay que entrar las restricciones en los primeros camiones de la categoría. Por ejemplo si tengo 7 camiones de 15 cuyo 2 no pueden ir en la primera y segunda tanda, en la lista de las capacidades poner la restricción en los 2 primeros camiones de 15 toneladas. Ejemplo:

Camiones disponibles		Ton		Solo puede ir en Tanda N°		
Capacidad		1	CH-4657	25		
25	1	2	DJ-9027	15	3	4
15	10	3	KY-2049	15	3	4
14	1	4	ND-9734	15		5
10	2	5	NK-5940	15		
Total		6	NL-4894	15		
		7	PU-6877	15		
		8	RR-1493	15		
		9	EE	15		
		10	SS	15		
		11	WS	15		

Si los camiones pueden ir a todas las tandas, sin restricciones, no hay que entrar nada.

“Proy” es la única hoja donde se ingresan datos, en todas las otras no hay que ingresar nada.

Cuando todos los datos están ingresados ir a la hoja 1raTanda.

HOJA 1raTANDA

En esta hora podemos ver el número de camiones que necesitamos para la primera tanda, y el número de ciclo (o vuelta) por camión. También para cada camión la tabla nos da la hora de salida de planta y la hora de llegada en faena.

Para asignar las cargas de los camiones, según su versión de Excel hay que:

- apretar el botón “Asignar cargas”, con la versión Microsoft Office 2003
- ir en Herramientas → Solver → Resolver con Microsoft Office 2002

¡Este paso es obligatorio para el buen funcionamiento del programa!

El programa minimiza el número de camiones y vueltas por tanda para asegurar siempre una disponibilidad máxima para la tanda siguiente.

Después el programa analiza la cantidad de camiones que se necesita para la segunda tanda.

Si el número de camiones que necesitamos para la segunda tanda es inferior al número de camiones que nos queda, ir a la hoja 2Tanda; sino ir a la hoja 2bisTanda. **Esta instrucción es señalada en la hoja 1raTanda.**

HOJA 2TANDA O HOJA 2BISTANDA

a. Hoja 2Tanda

Como queda más camiones en planta de lo que necesitamos, de nuevo podemos optimizar la repartición de los camiones; por eso vamos a **usar de nuevo el solver** (Herramientas, Solver, Resolver) o simplemente apretar el botón “Asignar cargas” si tenemos la versión 2003.

¡Este paso es también obligatorio para el buen funcionamiento del programa!

¡1raTanda y 2Tanda SON LAS UNICAS 2 HOJAS EN LAS CUALES HAY QUE USAR EL SOLVER. PARA LAS OTRAS HOJAS SE USAN LOS CAMIONES EN SU ORDEN DE LLEGADA A LA PLANTA!

Después de haber realizado esta manipulación ir a hoja 3Tanda.

b. Hoja 2bisTanda

Como no queda bastante camiones para atender la segunda tanda ya no vamos a optimizar la repartición sino que vamos a asignar primero los camiones que nos queda en la planta y después ver si tomamos camiones de otra planta o usar camiones de la primera tanda que regresaron a tiempo para atender la segunda.

El rectángulo rojo indica si necesitamos camiones de otra planta o no. Si es nulo no necesitamos camiones de otra planta; si es positivo sí. Si es positivo y que no podemos usar camiones de otra planta, entonces hay que retrasar un poco el pedido.

En esta hoja no se usa el solver, todo está calculado automáticamente. No hay que tocar nada.

Después de haber realizado esta manipulación ir a hoja 3Tanda.

HOJA 3TANDA, HOJA 4TANDA, HOJA 5TANDA, ETC

En las hojas siguientes todo está calculado automáticamente, no hay que tocar nada. Se asignan los camiones en función de su orden de llegada a la planta; el primer que regresó de una obra es el primer que sale de nuevo a otra.

Los rectángulos rojos indican si se necesitan camiones de otra planta. Si el programa indica que se necesitan camiones de otra planta y que no se pueden conseguir, entonces habrá que postergar un poco el pedido.

HOJA RESUMEN

Antes de la penúltima hoja se encuentra un resumen de las diferentes tandas donde salen todos los horarios de salida de planta y llegada en faena para cada camión. Este resumen sirve para tener una visión global de los despachos del día.

PATENTES

En la penúltima hoja se encuentra el programa que tiene que seguir cada camión. Hay tantas planillas como camiones, donde sale el horario del día para un camión dado. Lo ideal sería distribuir estas planillas a los transportistas cada mañana.

PLANTA

En esta ultima hoja, sale un programa de planta que calcula, a partir de la hora de salida de un camión y el tiempo de carga en planta (ingresado al principio, en la hoja Proy) la hora a la cual debe cargar el camión.

RECOMENDACIONES

- Para poner en funcionamiento el OPS es fundamental contar con una programación previa y ajustada a los reales requerimientos de obra.
- Tener en cuenta los camiones disponibles diariamente y suprimir aquellos camiones no disponibles por eventuales contratiempos como panne u otros previos a la programación, como guante la ejecución de la obra.
- Cambiar celdas únicamente en la hoja "Proy". Cambiar sólo los datos en azul.
- Poner 0 o nada en las tandas que no vamos a usar (en las columnas en azul); por ejemplo si hay sólo 4 tandas, poner 0 a partir de la quinta tanda hasta la décima, sobretodo en la columna "tonelada" y "hora en faena".
- Pensar que hay 2 casos para la segunda tanda: sea tenemos bastantes camiones en planta para atenderla, en este caso vamos a la hoja "2Tanda" y usar el Solver, sino vamos a "2bisTanda" y NO usamos el Solver.
- No olvidar usar el Solver en la hoja "1raTanda" y "2Tanda".

Cualquier consulta:

Elodie Etchepareborde
eeetchepa@gmail.com

ANEXO H SALIDA DEL PROGRAMA OPS – PLANILLAS PARA CADA TANDA

	Primer ciclo				Segundo ciclo			
	1				2			
	Salida planta	llega faena			Salida planta	llega faena		
1	08:30	09:00	15	CH-4657				
2	08:45	09:15	14	VB-1234				
3	09:00	09:30	14	SD-7892				
4	09:15	09:45	14	CS-4563				
5	09:30	10:00	14	VA-7447				
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								

Proy 1raTanda 2Tanda 2bisTanda 3Tanda 4Tanda 5Tanda 6Tanda

300	Primer ciclo				Segundo ciclo				Tercer ciclo				Cuarto ciclo			
	1				2				3				4			
	Salida planta	llega faena			Salida planta	llega faena			Salida planta	llega faena			Salida planta	llega faena		
1	08:30	09:00	15	DJ-9027	10:00	10:30	15	J-90	11:30	12:00	15	J-902	13:00	13:30	15	J-9
2	08:45	09:15	15	KY-2049	10:15	10:45	15	V-20	11:45	12:15	15	Y-204	13:15	13:45	15	F-2
3	09:00	09:30	15	ND-9734	10:30	11:00	15	D-97	12:00	12:30	15	D-97				
4	09:15	09:45	15	NK-5940	10:45	11:15	15	K-59	12:15	12:45	15	K-59				
5	09:30	10:00	15	NL-4894	11:00	11:30	15	L-48	12:30	13:00	15	L-48				
6	09:45	10:15	15	PU-6877	11:15	11:45	15	J-68	12:45	13:15	15	U-68				
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																

Proy 1raTanda 2Tanda 2bisTanda 3Tanda 4Tanda 5Tanda 6Tanda 7Tanda 8Tanda 9Tanda

	Primer ciclo				Segundo ciclo				Tercer ciclo			
	1				2				3			
	Salida planta	llega faena			Salida planta	llega faena			Salida planta	llega faena		
1	10:25	11:15	15	RR-1493	12:40	13:30	15	R-14				
2	10:40	11:30	15	PP-4587	12:55	13:45	15	L-45				
3	10:55	11:45	15	ES-9314	13:10	14:00	15	L-93				
4	11:10	12:00	15	CH-4657	13:25	14:15	15	L-46				
5	11:25	12:15	14	VB-1234	13:40	14:30	14	B-12				
6	11:40	12:30	14	SD-7892								
7	11:55	12:45	14	CS-4563								
8	12:10	13:00	14	VA-7447								
9	12:25	13:15	15	ND-9734								
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Proy 1raTanda 2Tanda 2bisTanda 3Tanda 4Tanda 5Tanda

	Primer ciclo				Segundo ciclo				Tercer ciclo			
	1				2				3			
	Salida planta	llega faena			Salida planta	llega faena			Salida planta	llega faena		
1	14:00	14:30	15	NK-5940	15:30	16:00	15	NK-5940				
2	14:15	14:45	14	SD-7892	15:45	16:15	14	SD-7892				
3	14:30	15:00	15	NL-4894	16:00	16:30	15	NL-4894				
4	14:45	15:15	14	CS-4563	16:15	16:45	14	CS-4563				
5	15:00	15:30	15	PU-6877	16:30	17:00	15	PU-6877				
6	15:15	15:45	14	WA-7447								
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

► ► \ Nec / **Proy** / 1raTanda / 2Tanda / 2bisTanda / 3Tanda / **4Tanda** / 5Tanda / 6Tanda

PLANILLAS ESPECÍFICAS A CADA CAMIÓN:

CH-4657		1		2		3		4		5	
Mall Arauco	Salida planta	llega faena									
	08:30	09:00									
Lomas											
Doble Almejd	Salida planta	llega faena	Salida planta	llega faena							
	11:10	12:00	13:25	14:15							
Lomas											

KY-2049		1		2		3		4		5	
Mall Arauco											
Lomas	Salida planta	llega faena									
	08:45	09:15	10:15	10:45	11:45	12:15	13:15	13:45			
Doble Almejd											
Lomas											