

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

**“MODELO DE OPTIMIZACION APLICADO A LA RELOCALIZACION DE  
INSTALACIONES DE DESPACHO DE COMBUSTIBLE”**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**OSVALDO EUGENIO FREIRE MARTÍNEZ**

PROFESOR GUÍA  
PATRICIO CONCA KEHL

MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
RICARDO SAN MARTÍN ZURITA  
JOSÉ MOSQUERA CADIZ

SANTIAGO DE CHILE  
NOVIEMBRE 2011

## MODELO DE OPTIMIZACION APLICADO A LA RELOCALIZACION DE INSTALACIONES DE DESPACHO DE COMBUSTIBLE

El trabajo se ha desarrollado en la Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A., empresa dedicada exclusivamente a la distribución de combustible, la cual en el año 2008 creó un servicio exclusivo para pequeños clientes industriales. Aunque ha existido un aumento en los niveles de venta a través de los años, en la actualidad éste no opera de manera eficiente, generando pérdidas de hasta 3 horas diarias por camión, sólo por encontrarse distante el lugar de carguío de los clientes. Totalizando 247,5 hrs mensuales entre los 5 vehículos que operan, lo que se estima en un costo de MM\$4,1.

Como objetivo principal se ha planteado determinar las ubicaciones óptimas para establecer centros de carguío, considerando la demanda proyectada, distancia al cliente y los costos de implementación, utilizando la red existente de Estaciones de Servicio que en la actualidad alcanzan las 176 para la Región Metropolitana. Además, estimar la demanda futura de combustible, ítem que ha sido resuelto utilizando el modelo de suavización Holt-Winters, permitiendo calcular el crecimiento del consumo para los siguientes 4 años.

La situación descrita se ha planteado como un problema de programación entera mixta (MIP), en el que el modelo minimiza el costo de habilitar Estaciones de Servicio, agregar nuevos estanques y del transporte del combustible, sub-dividiendo en dos tramos distintos este último, el realizado por medio de camiones tradicionales ( $33 \text{ m}^3$ ) entre la planta de almacenamiento y el centro de despacho y el segundo, entre el centro de despacho y el cliente final, utilizando camiones de  $5 \text{ m}^3$ , los cuales poseen un costo unitario  $\$/(\text{Litro} \cdot \text{Kilómetro})$  superior al promedio.

Las principales restricciones del problema radican en la capacidad limitada de las E/S, debido a que conservan el negocio de la distribución a vehículos menores, limitación que se suple con un aumento en la frecuencia de recarga desde la planta de almacenamiento y/o un eventual aumento en la capacidad instalada, por medio de un estanque adicional. Los 1048 clientes industriales analizados se han agrupado en 35 zonas de  $5 \text{ km}^2$ , lo que permite reducir considerablemente el tamaño del problema. Las dos inversiones: habilitación de la E/S e instalación de estanque promedian un costo de MM\$9,2 y MM\$12,5 respectivamente.

La propuesta se ha enfocado en el sector nororiente de la Región Metropolitana, ya que en él se genera un 37,5% de las ventas con tan solo un 12% del total de comunas. Bajo este escenario el modelo resuelve utilizar 3 Estaciones de Servicio y agregar 1 estanque adicional, los que deben estar operativos antes del primer trimestre de proyección. Esta solución disminuye en un 65% el costo respecto a continuar con el modelo actual, desde MM\$427,5 a MM\$149,6, incrementando en igual proporción los ingresos brutos, desde MM\$362,7 a MM\$671,5 en todo el período de análisis. Además, la propuesta reduce en un 76% la distancia promedio entre los clientes y los centros de carguío, lo que significa bajar de 21,9 a 5,6 kms. la distancia que percibe el cliente final.

## **Agradecimientos**

A mis padres, Albita y Osvaldo, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, me han entregado educación y la increíble oportunidad de convertirme en un profesional. Además, de apoyarme incondicionalmente cada una de las decisiones que he tomado.

A mi hermana Loreto, quien ha sido una gran compañera de aventuras y una excelente amiga.

A mis amigos y amigas, que siempre confiaron en mí y con los cuales compartí gratos momentos, tanto en la universidad como fuera de ella. En especial aquellos amigos de especialidad que me acompañaron hasta el final de esta etapa.

A los Profesores Patricio Conca, Ricardo San Martín y José Mosquera, que me guiaron con sus consejos y experiencia para llevar a cabo este proyecto, buscando siempre la forma de sobrellevar las dificultades que surgían en el camino.

A Alejandro Pino e Ignacio Tampe, quienes me abrieron las puertas de la Subgerencia de Ventas Industriales de Copec para desarrollar este trabajo.

## Contenido

Agradecimientos .....	3
Índice de Gráficos .....	5
Índice de Tablas .....	6
1. Antecedentes Generales .....	7
2. Descripción del Proyecto y Justificación .....	14
3. Objetivos.....	24
3.1 Objetivo General.....	24
3.2 Objetivos Específicos .....	24
4. Marco Teórico.....	25
5. Metodología .....	30
6. Alcances .....	31
7. Resultados Esperados .....	32
8. Estimación de Demanda.....	33
9. Crecimiento Zonas Industriales, Comerciales y Servicios .....	38
10. Construcción del Modelo Matemático .....	40
11. Aplicación Modelo.....	45
12. Validación.....	54
13. Resultados .....	55
14. Análisis de Sensibilidad .....	63
15. Conclusiones .....	69
16. Investigaciones Futuras.....	70
17. Bibliografía Consultada .....	71
18. Anexos .....	72

## Índice de Gráficos

Ilustración 1 : Participación del Mercado de Combustibles Líquidos .....	7
Ilustración 2 : Ventas por Canal de Distribución.....	9
Ilustración 3 : Nivel de Venta Mensual Producto DEL.....	11
Ilustración 4 : Costo Flete por Mes .....	12
Ilustración 5 : Costo Unitario Flete vs. Margen Operacional .....	13
Ilustración 6 : Distribución Geográfica Clientes Producto DEL.....	16
Ilustración 7 : Distribución Geográfica de Pedidos .....	16
Ilustración 8 : Número de Despachos por Volumen de Venta .....	17
Ilustración 9 : Litros Promedio por Solicitud.....	17
Ilustración 10 : Viaje Tipo Camión DEL .....	19
Ilustración 11 : Porcentaje Casos por Tipo de Viaje.....	20
Ilustración 12 : Predicción de demanda: Centro, Nororiente, Norponiente y Norte.....	35
Ilustración 13 : Predicción de demanda: Sur, Suroriente y Total.....	36
Ilustración 14 : Predicción de demanda: Poniente y Surponiente .....	37
Ilustración 15 : Localización Estación de Servicio 60035 .....	45
Ilustración 16 : Identificación Clientes DEL .....	46
Ilustración 17 : Identificación Zonas de Demanda .....	47
Ilustración 18 : Extracto Demanda Semanal por Zona.....	48
Ilustración 19 : Ventas PD – E/S 60035.....	49
Ilustración 20 : Costo Instalación Estanque .....	51
Ilustración 21 : Costo Unitario por Tipo de Camión .....	52
Ilustración 22 : Costo Unitario Camión Formato DEL.....	53
Ilustración 23 : Volumen Total por Estación de Servicio Solución Base .....	56
Ilustración 24 : Costo Flete Solución Base.....	58
Ilustración 25 : Promedio Viajes Adicionales Solución Base.....	60
Ilustración 26 : Costo Trimestral Solución Base por Tipo de Camión.....	61
Ilustración 27 : Litros Adicionales por Trimestre.....	65

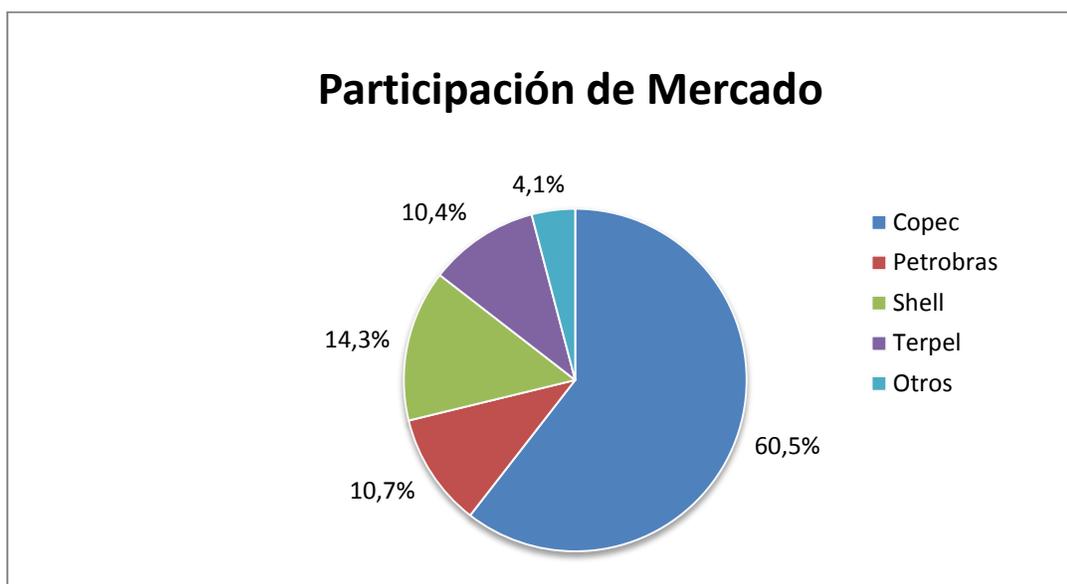
## Índice de Tablas

Cuadro 1 : Índice de Eficiencia por Distribuidora .....	10
Cuadro 2 : Nivel de Ventas Totales por Año y Tasa de Crecimiento.....	11
Cuadro 3 : Clientes Región Metropolitana.....	14
Cuadro 4 : Comunas Agrupadas por Zona Geográfica.....	15
Cuadro 5 : Tiempos Promedios de Viaje .....	18
Cuadro 6 : Costo Promedio Horas en Viaje por Mes.....	20
Cuadro 7 : Distancia Promedio por Sector .....	21
Cuadro 8 : Distancia Promedio Sector Nororiente .....	21
Cuadro 9 : Tiempos Promedios de Viaje del Gran Santiago.....	22
Cuadro 10 : TOP10. Distribución m <sup>2</sup> al 2010.....	38
Cuadro 11 : TOP10. Tasa de crecimiento de m <sup>2</sup> período 2010-2015.....	39
Cuadro 12 : Suministro Límite Semanal E/S 60035 .....	49
Cuadro 13 : Capacidad Adicional Límite E/S 60035.....	50
Cuadro 14 : Resultados Caso Base .....	55
Cuadro 15 : Número Zonas Atendidas por E/S .....	57
Cuadro 16 : Costo Solución Base.....	57
Cuadro 17 : Costos Anuales Solución Base .....	59
Cuadro 18 : Distancia Promedio Cliente – Centro de Despacho.....	59
Cuadro 19 : Resumen Solución Base por Camión Estanque .....	61
Cuadro 20 : Resumen Otras Soluciones .....	62
Cuadro 21 : Solución Sensibilidad de Localizaciones Factibles .....	63
Cuadro 22 : Costos Anuales. Sensibilidad de Localizaciones Factibles .....	64
Cuadro 23 : Distancia Promedio a Clientes. Sensibilidad de Localizaciones Factibles.....	64
Cuadro 24 : Solución Sensibilidad de Demanda.....	65
Cuadro 25 : Costos Anuales. Sensibilidad de Demanda .....	66
Cuadro 26 : Distancia Promedio a Clientes. Sensibilidad de Demanda.....	66
Cuadro 27 : Solución Sensibilidad de Centros de Despacho.....	67
Cuadro 28 : Costos Anuales. Sensibilidad de Centros de Despacho.....	67
Cuadro 29 : Distancia Promedio a Clientes. Sensibilidad de Centros de Despacho .....	68
Cuadro 30 : Ahorro Solución. Sensibilidad de Costo Transporte .....	68
Cuadro 31 : Resumen Solución Original y Sensibilidades.....	69

## 1. Antecedentes Generales

Hace más de 70 años se formó la Compañía de Petróleos de Chile Copec S.A., y desde siempre el objetivo de ella ha sido llegar a todos y cada uno de los habitantes del país. Existe una orientación a satisfacer las necesidades de cada uno de los miles de clientes que atiende día a día, siendo hoy la principal compañía distribuidora de combustibles y lubricantes, con una participación de mercado que supera el 60% en el segmento de combustibles líquidos.

**Ilustración 1 : Participación del Mercado de Combustibles Líquidos**



**Fuente: Memoria Corporativa Copec. Año 2010.**

El grupo Angelini concretó el control de la compañía al adquirir, a inicios del año 2000, a través de Antarchile un 30,05% adicional de las acciones de Copec. La magnitud alcanzada por las inversiones en el sector forestal, gas licuado, gas natural y pesquero que representaban más del 90% de los activos consolidados de la Compañía, hizo necesario un cambio de estructura, que permitiera separar el negocio de los combustibles líquidos de estas otras actividades. De este modo, el 1 de abril de 2003 se constituyó la Compañía de Petróleos de Chile, Copec S.A., nueva filial encargada de todas las operaciones relacionadas con el rubro de los combustibles líquidos y lubricantes, hasta entonces llevadas a cabo por la matriz. Esta quedó radicada en Empresas Copec S.A., holding financiero que participa también en otras áreas de negocios.

La nueva estructura facilita la gestión y entrega mayor autonomía a la organización, la que en estos años ha continuado creciendo y consolidándose en el

negocio de los combustibles líquidos para uso doméstico e industrial y en el rubro de los lubricantes. Asimismo, utilizando la plataforma de las nuevas autopistas concesionadas, amplió su red de puntos de venta, contando hoy con 624 estaciones de servicio, 70 tiendas de conveniencia Pronto y 165 locales Punto entre Arica y Puerto Williams.

La Subgerencia de Ventas Industriales (SGVI) es el área encargada de satisfacer específicamente las necesidades de los clientes industriales, clientes tales como; industrias productivas y de servicios básicos (Generadoras), edificios habitacionales, condominios, empresas de transportes y compañías mineras, que requieran de combustible en todas sus especificaciones y llevadas hacia las propias instalaciones de los clientes. Los diferentes productos con los que cuenta SGVI son:

- **Granel**

Despacho de combustibles desde las Plantas de Almacenamiento a estanques que posean los clientes en sus instalaciones industriales para consumo propio.

- **Storage**

Modalidad de entrega de combustibles en que Copec vende directamente a clientes industriales, quienes retirarán desde una Estación de Servicio previamente acordada.

- **Combustible para Calefacción**

En cada temporada de invierno se ofrece combustible para calefacción, suministro de venta directa a clientes.

- **Cupón Electrónico**

Tarjeta de prepago asociada a un vehículo específico, que permite a las flotas propias de vehículos consumir gasolinas o petróleo diesel, en cualquiera de las Estaciones de Servicio que disponga del sistema en línea.

- **Tarjeta Copec Transporte (TCT)**

Tarjeta de crédito para flotas de vehículos que requieran consumir petróleo diesel, en cualquiera de las Estaciones de Servicio con sistema habilitado.

- **Tarjeta de Abastecimiento en Empresas (TAE)**

Tarjeta de crédito para despacho de combustibles y lubricantes desde Estaciones de Servicio a empresas que necesiten ser abastecidas en sus instalaciones, faenas de trabajo o predios agrícolas.

- **Tecnología en Administración de Combustibles (TAC)**

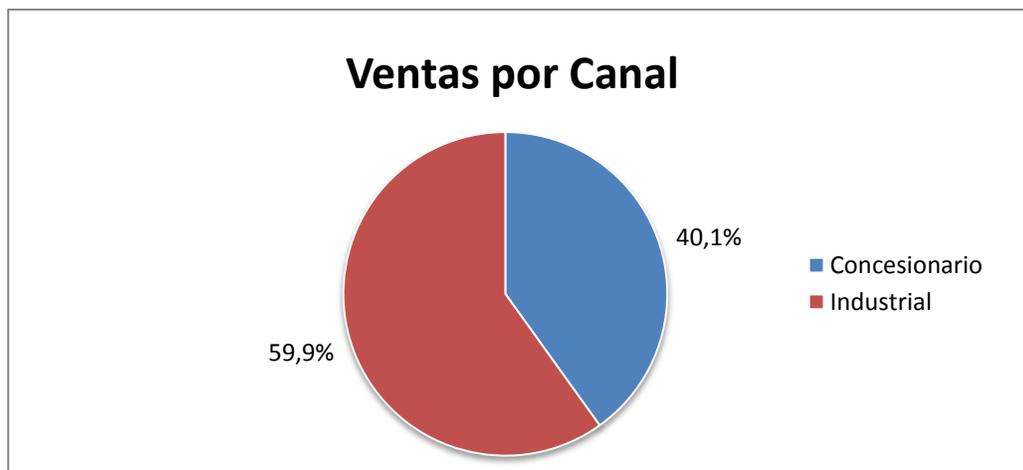
Sistema de control y gestión del combustible, para clientes con pequeñas flotas de vehículos o múltiples consumidores.

- **Despacho en Línea (DEL)**

Producto enfocado exclusivamente a satisfacer las necesidades de combustible de hasta 5.000 litros, despachando desde las Plantas de Almacenamiento a las instalaciones de los clientes.

El nivel de venta total que obtuvo Copec el año 2010 alcanzó los 9.177 miles de metros cúbicos de combustibles, siendo el negocio relacionado con el canal industrial el de mayor porcentaje de participación en las ventas, a diferencia del canal concesionario, que corresponde a las relacionadas con las Estaciones de Servicio. A continuación se detalla la relevancia de cada una de ellas.

**Ilustración 2 : Ventas por Canal de Distribución**



**Fuente: Memoria Corporativa Copec. Año 2010.**

El gráfico anterior muestra la gran importancia que tienen los clientes industriales en las ventas para la compañía y la constante necesidad de cumplir las demandas de los mismos, logrando que su experiencia de compra sea satisfactoria. Sin embargo, cualquier decisión por el que la empresa opte, para potenciar los clientes industriales, no debe generar una externalidad negativa al canal concesionario, ya que son ellos los que administran la imagen de Copec al público convencional.

Según el actual Gerente General, Sr. Lorenzo Gazmuri, la sostenida participación de la compañía en el mercado nacional está construida sobre 5 pilares<sup>1</sup>:

- Territorialidad: al estar presente en todas partes del país.
- Competitividad en precios.
- Eficiencia de la red de Estaciones: venta promedio superior a la competencia por cada Estación de Servicio.
- Orientación al Cliente.
- Trabajo de marca: generar imagen de prestigio.

Ello explica la continua necesidad de crear sinergias que le permitan aprovechar su marca, el gran número de instalaciones y su eficiencia, creando y capturando mayor mercado para sus productos. Además, estudios han identificado los principales factores con los que son asociados la marca: ser Líder, Chilena, Innovadora y con un concepto de Familia.

A continuación se detallan los indicadores de eficiencia de la red de Estaciones de Servicio, descritos por compañía distribuidora de combustible:

**Cuadro 1 : Índice de Eficiencia por Distribuidora**

	<b>Copec</b>	<b>Petrobras</b>	<b>Shell</b>	<b>Terpel</b>	<b>Otros</b>
<b>Nº Estaciones de Servicio</b>	625	236	294	200	110
<b>Venta Promedio (m3/mes Gasolinas)</b>	231	198	193	142	79
<b>Participación en E/S</b>	42,7%	16,1%	20,1%	13,7%	7,5%
<b>Participación en Gasolinas</b>	51,3%	16,2%	19,7%	9,8%	3,0%
<b>Índice de Eficiencia</b>	1,20	1,01	0,98	0,72	0,40

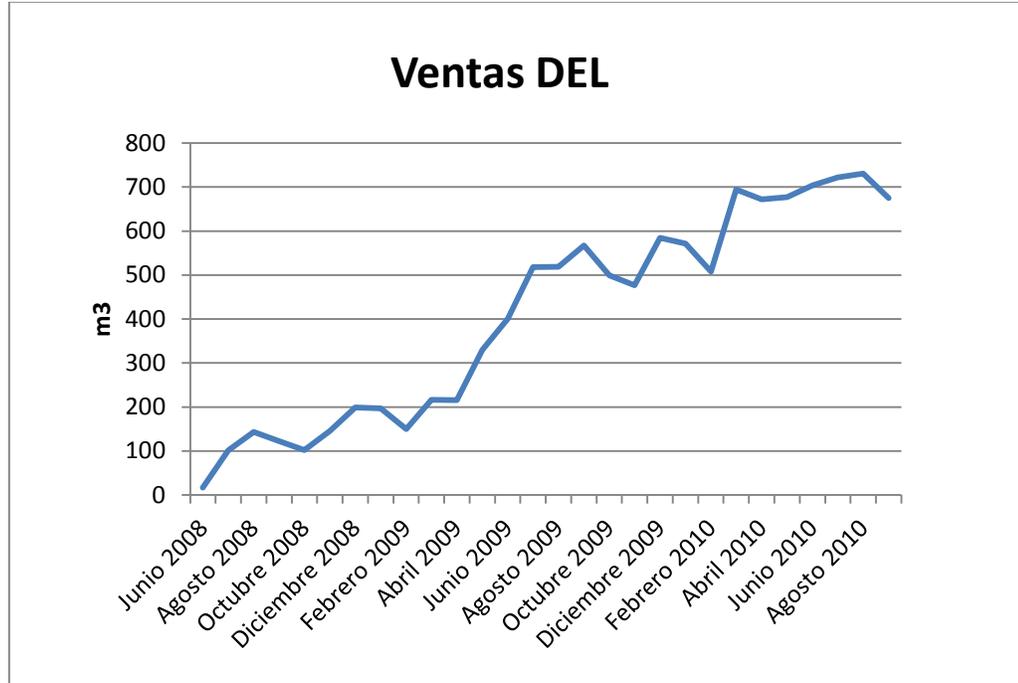
**Fuente: Lorenzo Gazmuri, Gerente General Copec.**

Actualmente, las ventas a pequeños clientes industriales, por medio del producto DEL, han conservado un crecimiento positivo y constante en el tiempo. Cabe destacar que este segmento inició operaciones en Junio de 2008, como respuesta a las necesidades de un nicho de mercado con alto potencial, el que estaba siendo cubierto por un número de oferentes indeterminado y con baja capacidad de respuesta.

<sup>1</sup> Información disponible en Club de Innovación. Universidad Adolfo Ibañez e IGT Consultora. [En línea] <[www.clubdeinnovacion.cl](http://www.clubdeinnovacion.cl)> [Consulta: Marzo 2011]

A continuación se grafica cómo han evolucionado las ventas por mes a lo largo del período en análisis (Junio 2008 – Septiembre 2010):

**Ilustración 3 : Nivel de Venta Mensual Producto DEL**



**Fuente: Subgerencia de Ventas Industriales (SGVI).**

El volumen total de venta por año para el segmento DEL y las respectivas tasas de crecimiento son las siguientes:

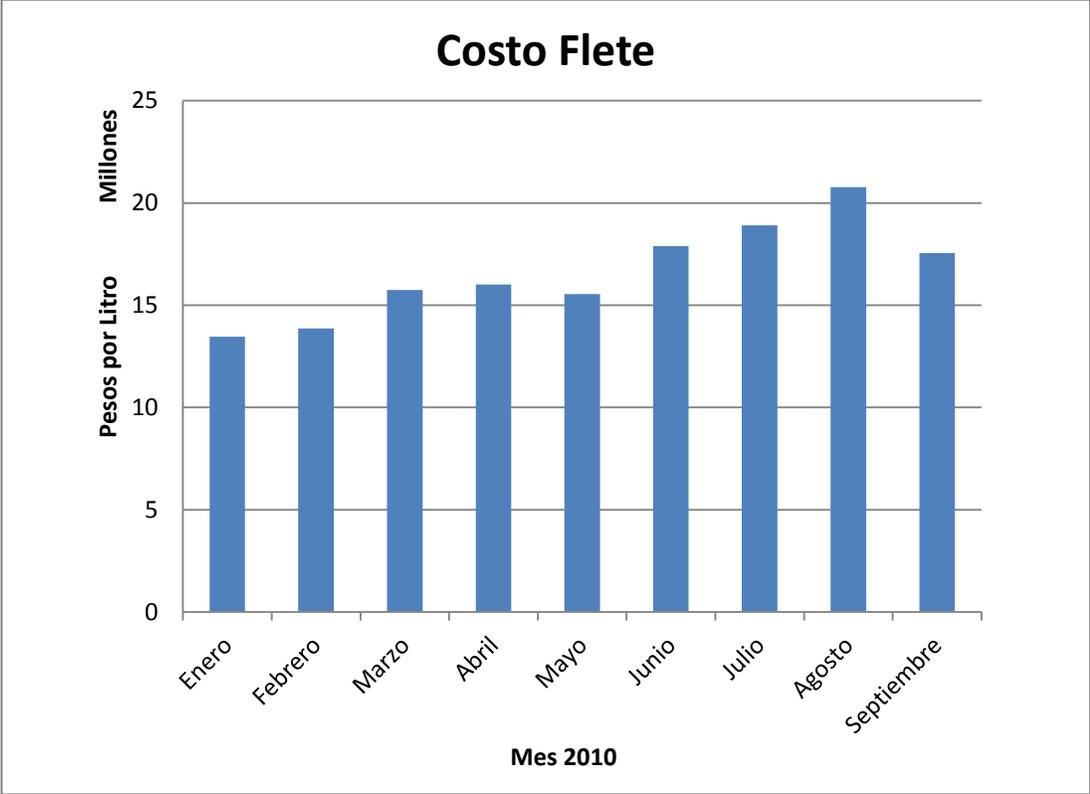
**Cuadro 2 : Nivel de Ventas Totales por Año y Tasa de Crecimiento**

<b>Año</b>	<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>Tasa de Crecimiento</b>
2008	831	-
2009	4.674	462%
Enero – Septiembre 2010	5.955	27%

**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

El costo en que se ha incurrido para el período Enero – Septiembre 2010, por concepto de transporte de combustible, alcanza los MM\$149 de pesos. A continuación se grafica el costo total por mes:

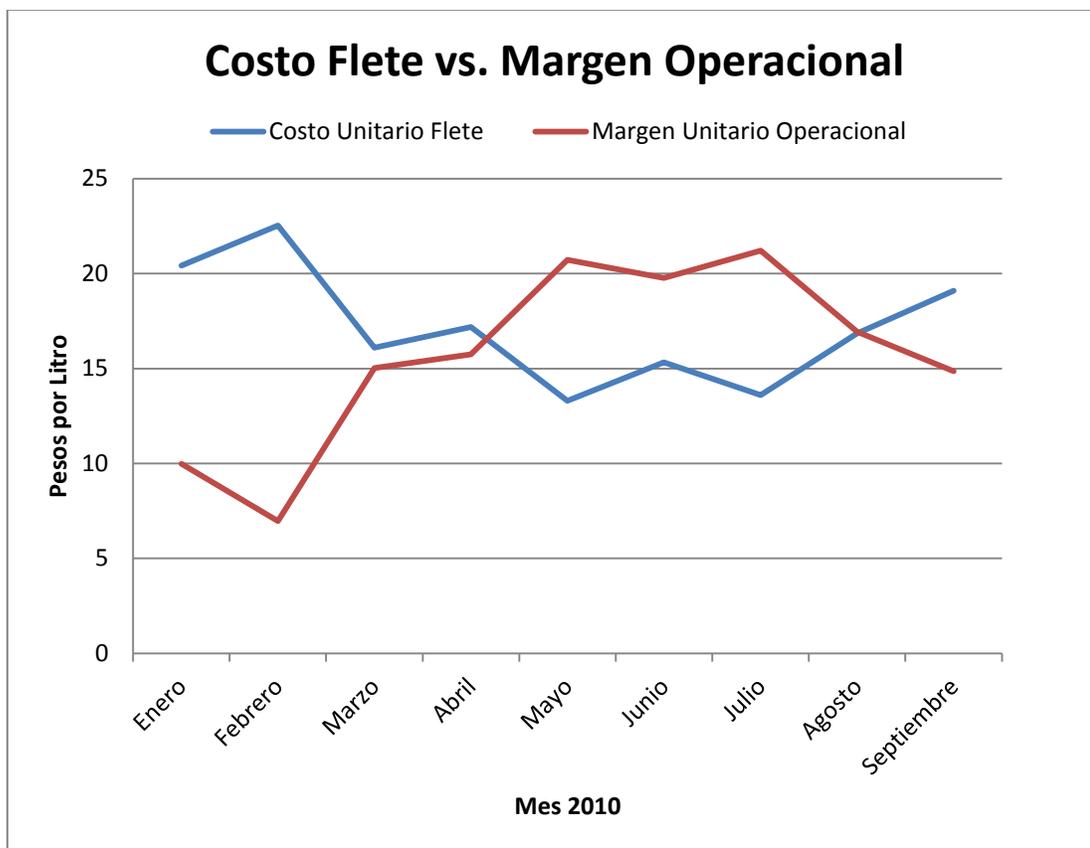
**Ilustración 4 : Costo Flete por Mes**



**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

En el siguiente gráfico se ilustran los costos unitarios por flete versus el margen unitario operacional:

**Ilustración 5 : Costo Unitario Flete vs. Margen Operacional**



**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

En la ilustración 5 se puede observar la gran variabilidad en el costo unitario por flete, lo que incide fuertemente en el margen operacional del negocio, esto se debe, entre otros factores, a que la rentabilidad del transportista está asegurada por contrato, obteniendo un piso base de ingreso mensual, generando así un mayor costo unitario cuando se moviliza un menor volumen de combustible, costo absorbido por COPEC y donde se cree existe una gran oportunidad de mejora, lo que justifica la relocalización de los centros de despacho para un menor costo de traslado.

Otro aspecto relevante a destacar es que en varios meses resulta más rentable el transporte de combustible que el de distribuidor mayorista (COPEC). Sin embargo, no existen limitaciones para que en un futuro el cálculo de pagos por flete sufra modificaciones, existiendo la posibilidad de renegociar los contratos para disminuir los costos.

## 2. Descripción del Proyecto y Justificación

El formato de ventas DEL (Despacho en línea), proyecto que fue concebido para satisfacer las necesidades de los pequeños clientes industriales, no está cumpliendo los objetivos con los que fue inicialmente constituido. Si bien, se encuentra operando, no lo realiza de manera eficiente y una de sus debilidades es la plataforma tecnológica que no funciona plenamente. Además, la línea de negocios requiere de una profunda reformulación, lo que dará paso a un nuevo producto, bajo otro nombre y características de operación. Respecto a éste último punto es que resulta importante una revisión de las condiciones logísticas en la que está operando.

Es de interés de la Gerencia General y de la Subgerencia de Ventas Industriales llevar a cabo un nuevo planteamiento del proyecto, en particular, analizar el sistema de traslado o la reubicación de los centros de carguío de los camiones ligeros de transporte de combustible.

Actualmente, el sistema de carguío se encuentra centralizado en la Planta de Almacenamiento, ubicada en Camino a Melipilla #11820, Maipú – Santiago. Esta condición restringe el número de clientes que pueden visitarse durante un día normal, dado que las distancias involucradas en la ciudad difieren significativamente entre clientes de distintas comunas.



**Cuadro 3 : Clientes Región Metropolitana**

Descripción	Número Total
Estaciones de Servicio	176
Nº Estanques Totales	968
Clientes DEL	1.805

**Fuente: Subgerencia de Ventas Industriales.**

Para efectos prácticos en análisis posteriores se ha optado por agrupar las comunas en las siguientes zonas, tanto por cercanía como por una homogeneidad entre sus integrantes:

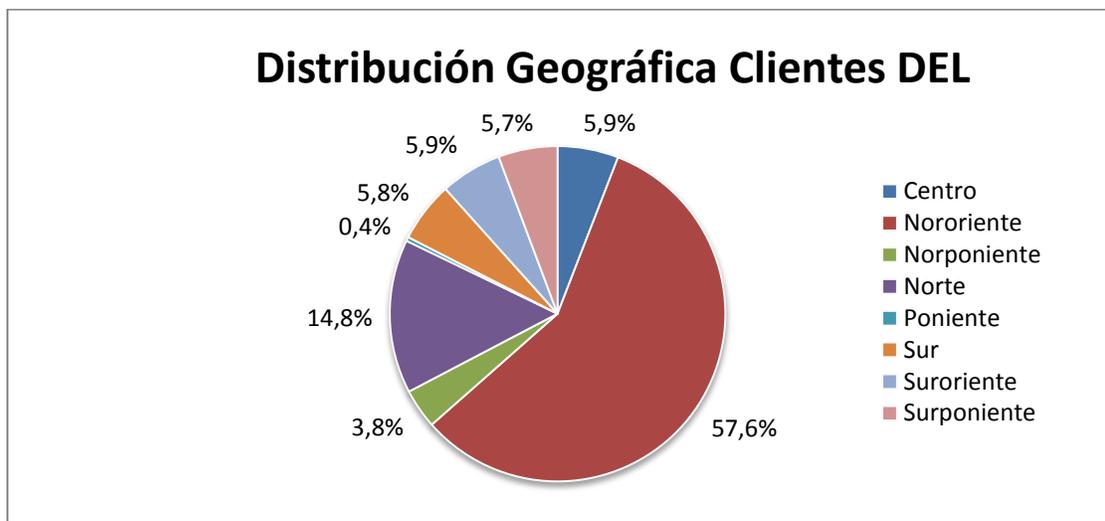
**Cuadro 4 : Comunas Agrupadas por Zona Geográfica**

<b>Centro</b>	<b>Nororiente</b>	<b>Norponiente</b>	<b>Norte</b>
Santiago	La Reina	Cerro Navia	Colina
	Las Condes	Lo Prado	Conchalí
	Lo Barnechea	Pudahuel	Huechuraba
	Nuñoa	Quinta Normal	Independencia
	Providencia	Renca	Lampa
	Vitacura		Quilicura
			Recoleta
			Tiltil
<b>Poniente</b>	<b>Sur</b>	<b>Suroriente</b>	<b>Surponiente</b>
Curacaví	Buín	La Florida	Calera de Tango
Melipilla	El Bosque	Macul	Cerrillos
San Pedro	Graneros	Peñalolén	El Monte
	La Cisterna	Pirque	Estación Central
	La Granja	Puente Alto	Isla de Maipo
	La Pintana	San José de Maipo	Maipú
	Lo Espejo		Padre Hurtado
	Paine		Peñaflor
	Pedro Aguirre Cerda		Talagante
	San Bernardo		
	San Joaquín		
	San Miguel		
	San Ramón		

**Fuente: Elaboración propia.**

A continuación se detalla la distribución geográfica de los clientes de acuerdo al sector de pertenencia:

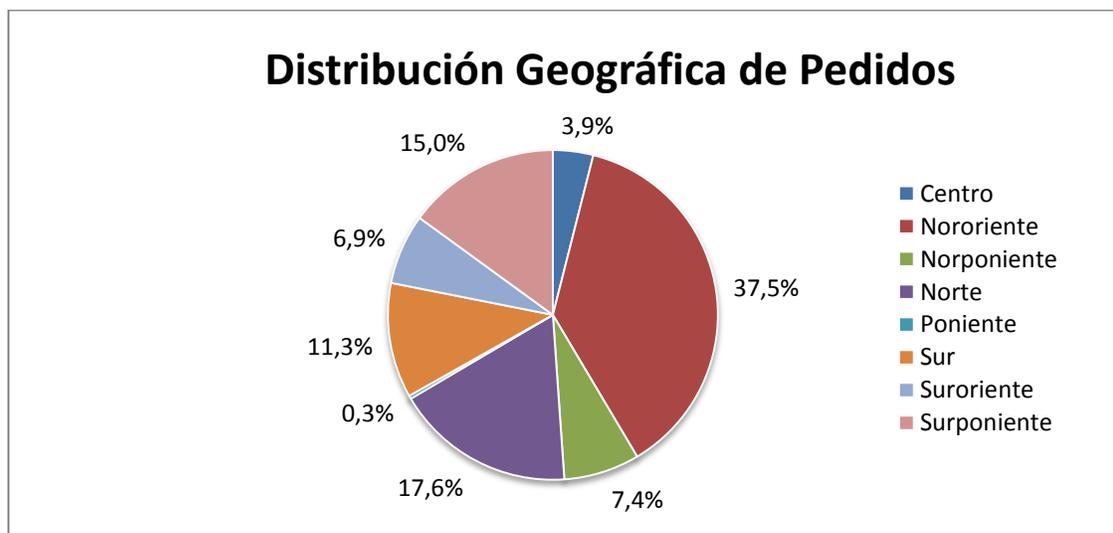
**Ilustración 6 : Distribución Geográfica Clientes Producto DEL**



**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

Destaca una gran concentración de clientes en la zona nororiente de la ciudad (57,6%), lo que se traduce en largas distancias de traslado, ya que la Planta de Almacenamiento, donde se realiza el proceso de carguío, se encuentra en el sector surponiente de Santiago. Tras analizar pedidos registrados y en particular, de donde estos son originados se ha obtenido una participación del 37,5%, lo que permite al sector nororiente conservar la misma importancia entre todos ellos:

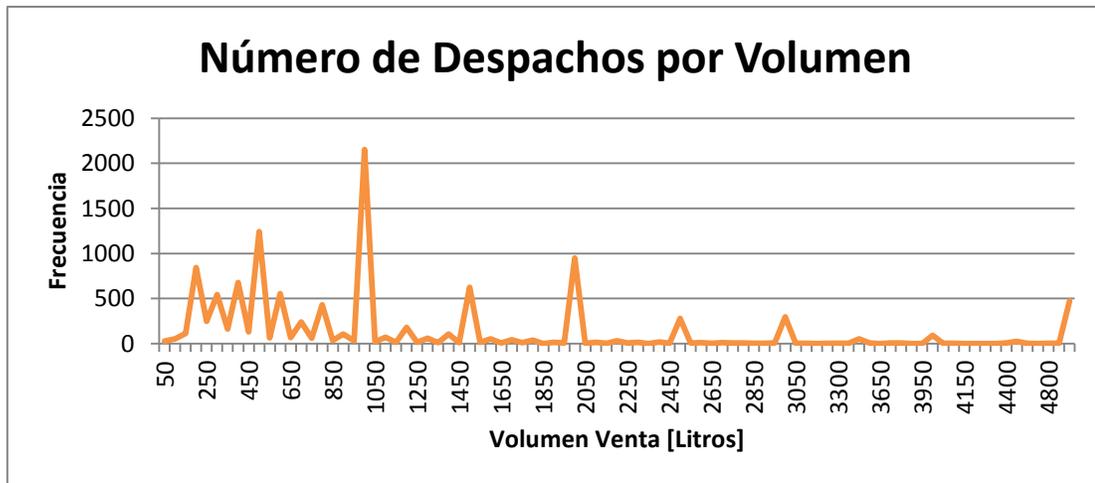
**Ilustración 7 : Distribución Geográfica de Pedidos**



**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

Además, es importante identificar los volúmenes de venta transados en cada solicitud y la frecuencia en todo el período de observación, lo que se grafica a continuación:

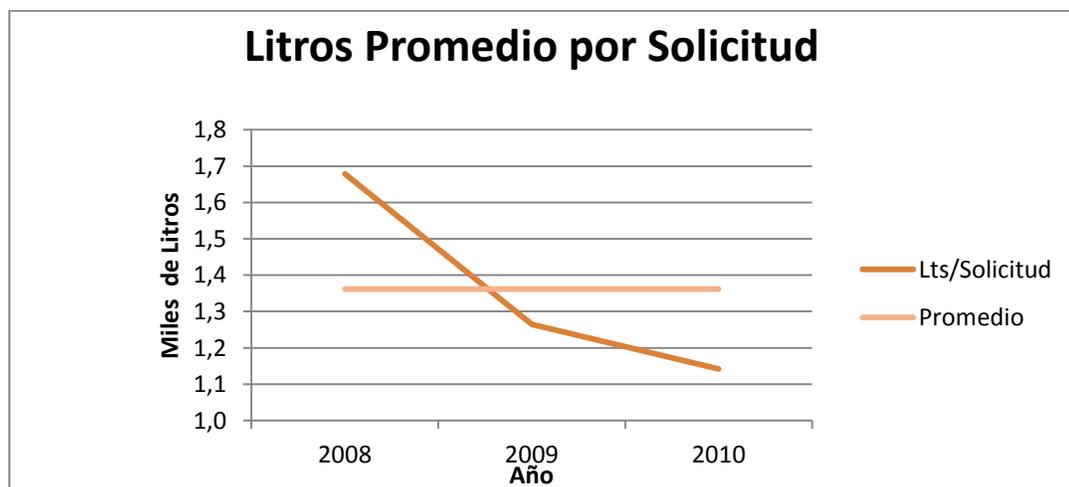
**Ilustración 8 : Número de Despachos por Volumen de Venta**



**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

El volumen solicitado con mayor frecuencia corresponde a 1000 litros, repitiéndose 2113 veces, implicando que el camión deba repartir 1/5 de su capacidad en reiteradas ocasiones y atendiendo a más de un cliente en cada despacho desde la planta de origen. Por otro lado, 471 veces se solicitó un camión a capacidad completa, es decir, 5000 litros, lo que contribuye en disminuir el número de clientes atendidos por cada viaje realizado.

**Ilustración 9 : Litros Promedio por Solicitud**



**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

La masificación del producto ha permitido el ingreso de nuevos clientes pero teniendo efectos sobre el promedio de litros solicitados por venta, el que ha visto disminuido su nivel al correr de los años, desde 1679 Lts. en 2008 a 1142 Lts. en 2010, con un promedio de 1362 Lts. durante todo el período en análisis.

Se puede deducir previamente, de igual forma que lo realizado a partir de la ilustración 8, un aumento del número de viajes y por consiguiente la necesidad de retornar en un mayor número de ocasiones al lugar de despacho para recargar combustible, esto principalmente por un incremento del volumen total transportado, apreciable en la ilustración 3, y por una baja en el promedio de litros transportados por viaje, observable en la ilustración 9.

Analizando el escenario actual respecto a los tiempos de traslado, se han obtenido los siguientes valores para cada uno de los casos relevantes<sup>2</sup>, siendo estos detallados posteriormente:

**Cuadro 5 : Tiempos Promedios de Viaje**

<b>Primera Vuelta</b>	
<b>Descripción Viaje</b>	<b>Tiempo Promedio</b>
Planta - Cliente (1)	0:41:51
Cliente – Planta (2)	0:45:11
<b>Tiempo en Planta</b>	
<b>Descripción Viaje</b>	<b>Tiempo Promedio</b>
Tiempo en Planta (3)	1:19:33
<b>Segunda Vuelta</b>	
<b>Descripción Viaje</b>	<b>Tiempo Promedio</b>
Planta – Cliente (4)	0:40:44

**Fuente: Elaboración propia.**

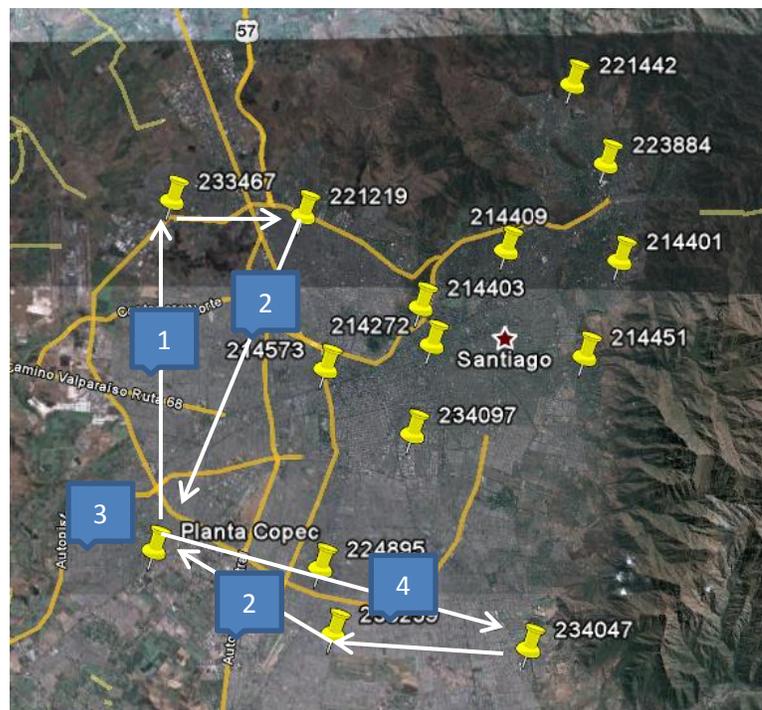
El primer caso (1) corresponde al tiempo de traslado entre la Planta de Almacenamiento y el primer cliente del día, con un promedio cercano a 42 minutos. Debido a que los tiempos de traslado entre clientes son independientes de donde haya cargado previamente cada camión, es que no toma relevancia en el análisis realizado.

<sup>2</sup> Detalles de cálculo en Anexo N°1.

En la mayoría de los casos se realizan dos vueltas diarias, de ahí es que se considere relevante el tiempo (2), caso en que el camión retorna desde el último cliente atendido del primer viaje, promediando 45 minutos. El tiempo (3) que está relacionado con la detención en Planta y que incluye el proceso de carguío bordea 1 hora y 20 minutos. Finalmente, el tiempo de traslado (4), que inicia desde Planta hacia el primer cliente de la segunda vuelta promedia los 40 minutos.

A continuación se ilustra un traslado tipo, indicando cada tramo del viaje en base a la nomenclatura antes mencionada.

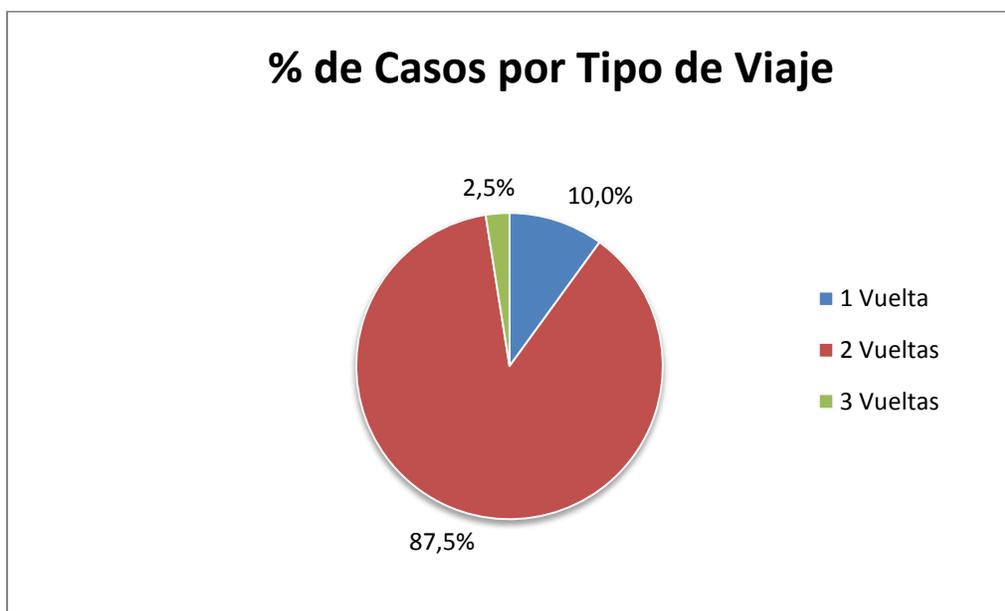
**Ilustración 10 : Viaje Tipo Camión DEL**



**Fuente: Elaboración Propia. Ilustración: Google Earth.**

A partir de la muestra también es posible distinguir la composición de los tipos de viaje, clasificándolos según número de vueltas, siendo el más recurrente el que involucra dos vueltas diarias, correspondiendo a un 87,5% de los casos analizados.

**Ilustración 11 : Porcentaje Casos por Tipo de Viaje**



**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

Considerando el número de camiones que operan actualmente y la composición de los viajes, es posible estimar un costo por las 2,75 horas diarias que se utilizan en traslado para cada uno de ellos, debido a los largos viajes que deben realizar para atender clientes.

**Cuadro 6 : Costo Promedio Horas en Viaje por Mes**

N° Camiones	Costo Total Promedio Mensual	Total Horas Mes	Horas en Viaje Mes	Costo Total Horas en Viaje
5	MM\$ 16,3	990	247,5	MM\$ 4,1

**Fuente: Elaboración Propia.**

Este costo asciende a un valor de MM\$ 49,2 de pesos por año para el total de la flota operativa.

Si bien el tiempo de traslado es relevante, la distancia entre sector y la planta de almacenamiento es otro factor clave a observar. Los valores que promedian cada uno de los sectores descritos anteriormente son:

**Cuadro 7 : Distancia Promedio por Sector**

Sector	Distancia Promedio [Kms]
Centro	13,4
Nororiente	21,9
Norponiente	11,9
Norte	24,1
Poniente	43,2
Sur	15,6
Suroriente	21,4
Surponiente	14,9
TOTAL	20,8

Fuente: Elaboración propia.

Al desagrupar las comunas que integran el sector nororiente se observan los siguientes valores:

**Cuadro 8 : Distancia Promedio Sector Nororiente**

Sector	Distancia Promedio [Kms]
La Reina	21,75
Las Condes	24,13
Lo Barnechea	29,02
Ñuñoa	16,74
Providencia	17,35
Vitacura	22,71

Fuente: Elaboración propia.

Todos los valores corresponden a la distancia en un solo sentido, es decir, el caso de ida o retorno, ninguno de ellos corresponde al viaje completo del transportista.

Considerando la utilidad que significa contar con una amplia red de Estaciones de Servicio operativas, en particular, las distribuidas en la Región Metropolitana, resulta importante analizar el utilizarlas como puntos estratégicos de carguío para este tipo de formato de venta. Además, se trasladaría un sólo tipo de combustible, correspondiente a petróleo diesel, simplificando el proceso ya que no requiere de lavado de estanque entre cargas.

Existen condiciones para evitar que el proceso de carga siga realizándose en la Planta de Abastecimiento, trasladándose hacia otras instalaciones de la compañía, con ello ahorrar tiempos en traslado y disminuir las distancias que recorren diariamente cada uno de los camiones despachadores, ya que eventualmente podrían estacionarse los vehículos en los puntos determinados mediante el modelo, siempre que estos no se encuentren en operación.

Si bien el estudio corresponde al segmento de clientes DEL, la escalabilidad del modelo permite que a futuro puedan incorporarse otros tipos de clientes al análisis y mejorar con ello otros negocios que no operen de forma eficiente.

Se ha descartado desde un principio, como única medida, aumentar la flota de camiones que circulan actualmente en Santiago, esto porque ello sólo significaría repetir las condiciones actuales, tanto la distancia entre cliente - centro de abastecimiento como los tiempos asociados al traslado. Esta solución no tendría efecto sobre el nivel de ocupación de los camiones, los cuales durante aproximadamente 3 horas no están efectuando venta alguna.

Según estudios realizados por la Secretaría de Planificación de Transportes (SECTRA) del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) del Gobierno de Chile, los tiempos asociados a los traslados en el Gran Santiago han evolucionado de la siguiente forma:

**Cuadro 9 : Tiempos Promedios de Viaje del Gran Santiago**

Año Encuesta	Tiempo Promedio de Viaje [min]		
	Total	Transporte Privado	Transporte Público
1991	35	26	44
2001	26	26	46
2006	27	24	48

**Fuente: Secretaría de Planificación de Transporte. Gobierno de Chile.**

La disminución del tiempo total promedio de viaje entre los años 1991 y 2006, a pesar que el parque automotor ha crecido de 90 a 137 vehículos por cada 1000 habitantes en el mismo período, se debe principalmente a la construcción de numerosas autopistas urbanas en la Región Metropolitana y corredores de buses.

Sin embargo, la cartera de Gobierno no posee más que 3 nuevas concesiones<sup>3</sup> de infraestructura vial para Santiago: Américo Vespucio Oriente (Licitación 2011), Costanera Central (Licitación 2013) y Autopista Lampa-Santiago (Proyecto en Evaluación), lo cual implicaría que no se crearían nuevas vías que permitan disminuir tiempos de traslado. Eventualmente podría existir un aumento en la congestión, potenciado por el incremento de ventas de vehículos motorizados, el que ha alcanzado un promedio de crecimiento igual a 5,7%<sup>4</sup> anual para la Región Metropolitana en los últimos años.

Finalmente, debido a estas observaciones se ha preferido relocalizar las instalaciones como una primera medida para mejorar el servicio que se está brindando a clientes industriales. Esto busca disminuir significativamente la distancia entre la instalación y el cliente atendido, implicando abastecer con mayor frecuencia y volumen las Estaciones de Servicio que operen como centro de carguío.

---

<sup>3</sup> Ministerio de Obras Públicas. Coordinadora General de Concesiones. [En línea]

<[http://www.concesiones.cl/proyectos/Documents/Documentos%20varios/programa\\_concesiones\\_2010\\_2014.pdf](http://www.concesiones.cl/proyectos/Documents/Documentos%20varios/programa_concesiones_2010_2014.pdf)> [Consulta: Abril 2011]

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Estadísticas. INE. 2009 [En línea]

<[http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario\\_de\\_publicaciones/pdf/14\\_05\\_10/completa\\_vehiculos\\_14\\_05\\_10.pdf](http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/14_05_10/completa_vehiculos_14_05_10.pdf)> [Consulta: Abril 2011]

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Determinar las Estaciones de Servicio de la Región Metropolitana que deberían operar como centros de carga para camiones de transporte de combustible.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar un método mediante el cual se pueda estimar la demanda agregada del segmento.
- Desarrollar e implementar un modelo matemático que permita establecer la localización geográfica óptima de los lugares de despacho de combustible, utilizando puntos predeterminados de una red.
- Estimar el costo de transporte y localización del resultado obtenido.
- Satisfacer la demanda de los distintos clientes.
- Contribuir a la calidad del servicio al disminuir los tiempos de respuesta.

#### 4. Marco Teórico

El marco general de los problemas de Investigación de Operaciones se puede resumir en el desarrollo de los siguientes aspectos<sup>5</sup>:

- Definición del Problema
- Construcción del Modelo
- Resolución del Modelo
- Validación del Modelo
- Implementación y Control del Modelo

En particular, los modelos de programación lineal tienen gran utilidad y versatilidad, dado que muchos de los problemas de la vida real pueden ser modelados matemáticamente para optimizar procesos. Generalmente están compuestos por la siguiente estructura:

- Función objetivo a maximizar o minimizar, según sea el caso.
- Restricciones al problema: sistema de ecuaciones que restringen las soluciones que puede tomar el modelo, de acuerdo a las condiciones de la problemática.
- Variables de decisión: conjunto de parámetros que el modelo puede modificar libremente para buscar el óptimo.
- Parámetros: conjunto de valores no modificables que el sistema toma como constantes.
- Naturaleza de las variables de decisión: donde se determinan las restricciones sobre los valores que pueden tomar las variables de decisión.

Los problemas de localización de instalaciones investigan dónde físicamente puede ubicarse un conjunto de instalaciones con el objetivo de minimizar el costo de satisfacer una demanda determinada o los costos asociados a ello, siendo modelos sujetos a un número de constantes predeterminadas. La decisión de dónde instalarse es requerimiento esencial para satisfacer de manera eficiente.

---

<sup>5</sup> Ortiz, C., Varas S., Vera J. 2004. "Optimización y Modelos para la Gestión".

Las aplicaciones son múltiples, estos tipos de modelos han servido para resolver problemas para la localización de almacenes, sitios de materiales peligrosos, estaciones de trenes, ubicación de cajeros automáticos, donde cada caso determinará el tipo de función objetivo que se desea abordar, entre ellas se encuentran; minimizar el tiempo promedio de viaje entre demandantes y oferentes, minimizar los tiempos de respuesta, minimizar el costo de viaje o tiempo de respuesta y finalmente maximizar el mínimo tiempo de viaje.

Formalmente la teoría fue introducida por Alfred Weber el año 1909, quien buscaba resolver el problema de localización para disminuir la distancia total recorrida entre bodega y un conjunto determinado de clientes, quienes se encuentran distribuidos espacialmente. Otro ejemplo fue formulado por el reconocido economista Hotelling en 1929, quién fue uno de los primeros en estudiar la localización de instalaciones con competencia, él consideró el problema de ubicar dos vendedores competidores a lo largo de una línea recta.

Los distintos modelos se pueden clasificar de acuerdo a su finalidad:

- Sector Público
- Sector Privado

El primer sector se ha focalizado a la localización de almacenes o de plantas productivas en que el interés principal es económico, en cambio, la mayor parte de los esfuerzos del sector público apuntan a la localización de servicios de emergencia, teniendo como objetivo maximizar los beneficios sociales.

Además, las distintas condiciones y características de cada problema hacen que cada uno de ellos sea diferente en su análisis. Sin embargo, se pueden agrupar de acuerdo a la cantidad de instalaciones y función objetivo. Algunos de los modelos clásicos de localización- asignación son los siguientes:

#### 4.1. Modelos p-median<sup>6</sup>

Este tipo de problema busca identificar la posición geográfica óptima para una cantidad  $p$  de instalaciones, en la que el objetivo principal es minimizar la distancia promedio entre instalación-cliente. Además, asignarle el cliente que le corresponde atender. La modelación es la siguiente:

$$\text{Min } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \cdot w_i \cdot d_{ij}$$

s.a.

- Localizar las 'p' instalaciones:

$$\sum_{j \in J} y_j = p \quad \forall j \in J$$

- Cada cliente debe ser atendido por solo una instalación:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I$$

- La asignación se debe realizar a una instalación existente:

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I, \forall j \in J$$

Donde las variables de decisión son las siguientes:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si se asigna el nodo } i \text{ a } j \\ 0 & \sim \end{cases} \quad y_j = \begin{cases} 1 & \text{Si se localiza una instalación en } j \\ 0 & \sim \end{cases}$$

Los parámetros utilizados son los siguientes:

$d_{ij}$  = distancia entre nodo  $i$  y nodo  $j$

$w_i$  = demanda en la zona  $i$

$J$  = conjunto de localizaciones factibles

$I$  = conjunto de zonas de demanda

---

<sup>6</sup> Fuente: Gac, Isabel. 2006. "Modelo de Optimización Lineal Determinístico para la Localización de Colegios"

## 4.2. Modelos p-center<sup>7</sup>

Corresponden a modelos que buscan identificar la localización óptima para un conjunto de  $p$  instalaciones, asignándole clientes a cada una de ellas. A diferencia con el caso anterior, es que el objetivo principal es minimizar la distancia máxima entre clientes e instalaciones, sujeto a que el cliente debe ubicarse a una distancia máxima entregada como parámetro. El modelo se subdivide en dos casos:

1. Location Set Covering Problem (LSCP): El principal objetivo consiste en determinar el número mínimo de instalaciones y su localización para atender toda la demanda. La formulación es la siguiente:

$$\text{Min } \sum_{i \in J} x_j$$

s.a.

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I$$

Donde la variable de decisión es la siguiente:

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{Si se localiza una instalación en } j \\ 0 & \sim \end{cases}$$

Los parámetros utilizados son los siguientes:

$N_i$  = conjunto de instalaciones accesibles desde  $i$

$J$  = conjunto de localizaciones factibles

$I$  = conjunto de zonas de demanda

---

<sup>7</sup> Fuente: Gac, Isabel. 2006. "Modelo de Optimización Lineal Determinístico para la Localización de Colegios"

2. Maximal Covering Location Problem (MCLP)<sup>8</sup>: El principal objetivo consiste en maximizar la demanda atendida al fijarle un número determinado de instalaciones. La formulación es la siguiente:

$$\text{Min} \sum_{i \in I} w_i \cdot y_i$$

s.a.

- Localizar las 'p' instalaciones:

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad \forall j \in J$$

- Nivel de cobertura:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I$$

Donde las variables de decisión son las siguientes:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{Si la demanda en } i \text{ es cubierta por alguna instalación} \\ 0 & \sim \end{cases}$$

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{Si se localiza una instalación en } j \\ 0 & \sim \end{cases}$$

Los parámetros utilizados son los siguientes:

$N_i$  = conjunto de instalaciones accesibles desde  $i$

$J$  = conjunto de localizaciones factibles

$I$  = conjunto de zonas de demanda

---

<sup>8</sup> Fuente: Gac, Isabel. 2006. "Modelo de Optimización Lineal Determinístico para la Localización de Colegios"

## **5. Metodología**

El desarrollo del trabajo se ha centrado en la realización de las siguientes actividades:

### **Análisis de la situación actual**

Determinar la forma en que se está operando actualmente, para medir de forma cuantitativa posibles factores que están haciendo poco eficiente el proceso. Identificar donde se está generando la mayor cantidad de ventas y como se distribuyen los clientes dentro de la Región Metropolitana.

### **Revisión bibliográfica**

Revisión de modelos existentes en Investigación de Operaciones que sean utilizados para determinar la localización óptima de instalaciones. Además, modelos que provean una estimación futura confiable de la demanda que tendrá el segmento, obteniendo así una metodología para realizar predicciones.

### **Procesamiento de datos**

- Filtrado de datos que serán utilizados posteriormente.
- Determinar de las zonas que poseen mayor atractivo para el problema, dado por su lejanía y por los ingresos que representan.

### **Construcción del modelo**

Determinar los factores claves del problema, que representan las restricciones del modelo. Además, se deben llevar a cabo las siguientes tareas:

- Aplicar el modelo de estimación de demanda futura, de esta forma determinar el nivel de venta al que estará sujeto el modelo de optimización.
- Formular un modelo matemático que permita determinar cuáles de las Estaciones de Servicio pueden ser usadas como centro de carguío, con el fin de minimizar la distancia que debe trasladarse cada uno de los camiones para atender al conjunto de clientes.

- Elegir el software computacional que resolverá el problema planteado.

### **Resolución del problema**

- Establecer un escenario base que sirva para validar el modelo, comprobando el correcto funcionamiento de él.
- Ejecutar el modelo y obtener resultados, luego modificar los parámetros utilizados para comprobar la sensibilidad a ellos por parte de este.

### **Análisis y Conclusiones**

- Evaluar la solución entregada y comparar cuantitativamente con respecto a las condiciones iniciales registradas.
- Analizar los costos y beneficios económicos de poner en práctica la modificación a la logística del formato.
- Concluir y realizar recomendaciones.

## **6. Alcances**

El desarrollo del trabajo es una fuente de información y apoyo a las decisiones estratégicas del proyecto, en particular, el análisis sólo abarca la línea de negocio relacionada con la venta inferior o igual a 5.000 litros por despacho.

El modelo que se ha planteado es un modelo generalista que no busca solucionar la gestión operacional a nivel táctico u operativo, tales como el problema del ruteo de vehículos ni cómo generar la recarga a las Estaciones de Servicio que funcionarán bajo este esquema, sino que determinar cuáles de ellas elegir.

Las distancias de traslado corresponden a la distancia euclidiana entre los distintos puntos de la ciudad de Santiago. Levantar información sobre rutas reales requiere de un análisis extenso al sistema de posicionamiento de los vehículos, labor que consumiría más que el tiempo presupuestado para este ítem. Sin embargo, se desea resolver el problema como una aproximación al real, ya que para el modelo la distancia solo representa un *input* y que de ser mejorado en el futuro no cambiaría la estructura del modelo ya formulado.

Si bien se ha convergido a un modelo que sirve a toda la Región Metropolitana, el problema se ha restringido a analizar el sector más representativo de ella, esto debido al gran número de clientes e instalaciones que conforman la Región. El sector seleccionado es el nororiente, grupo de comunas que han sido definidas previamente.

Debido a que la estructura para la estimación del pago por flete es una fórmula que depende de distintos factores, estando a cargo de la Subgerencia de Logística, para analizar los beneficios de relocalizar las instalaciones se ha planteado utilizar el promedio histórico de los pagos, uno que considere pesos por litro y distancia, ya que el fin de este trabajo no es la revisión de la metodología de tarificación.

El análisis considera períodos de 3 meses, entre los meses de Enero 2011 a Diciembre 2014, de esta forma se hace comparable a otros desarrollos llevados a cabo por la Subgerencia de Ventas Industriales, ya que todos los que se realizan en el área ocupan este horizonte de evaluación. La definición de períodos trimestrales se debe principalmente al alto costo de inversión, ya que cambiar de Estaciones de Servicio con mayor frecuencia puede generar conflictos con el administrador de la concesión y un gasto innecesario en obras civiles.

## **7. Resultados Esperados**

Determinar niveles de ventas para el segmento utilizando modelos que ajusten sus parámetros a las curvas de datos históricos que se poseen, obteniendo predicciones hasta un cierto plazo estipulado.

Desarrollar un modelo de optimización, que sirva para determinar la localización óptima de centros de despacho, totalmente funcional y ajustado a las variables del problema. Tras la ejecución del modelo, obtener los lugares estratégicos para la localización de los respectivos centros, identificando el conjunto de clientes que se le asociarán a cada uno de ellos.

Reducir los tiempos de viajes y con ello mejorar la atención de los clientes, debido a una disminución en la distancia promedio entre cliente y centro de despacho. Además, disminuir los costos por concepto de traslado de combustibles, dándole mayor uso a vehículos de capacidades superiores, aprovechando las economías de escala que estos ofrecen por sobre los pequeños camiones despachadores.

## 8. Estimación de Demanda

### Situación Actual

Actualmente, la metodología aplicada por el personal del área de Ventas Industriales es la de estimar la demanda en base al *know how* que tiene la gente de la Subgerencia, conocimiento que ha sido adquirido a través de los años de experiencia en el rubro. Además, es común que se espere un crecimiento del 15% al 20% respecto al año anterior en este segmento en particular, por lo tanto, no existe en uso un modelo matemático que busque predecir el comportamiento futuro del consumo de los clientes.

### Método Planteado

Resulta importante generar un buen modelo de estimación de la demanda futura, dado que lo que entregue será utilizado como *input* para el modelo de localización. Los datos utilizados corresponden a las ventas totales por semana desde Junio 2008 a Septiembre 2010. Se ha descartado utilizar los meses siguientes debido a la irregularidad en la entrega de información por parte del sistema, debido a problemas de conexión del software. Además, se decidió adoptar la segmentación de los datos por semana, ya que al analizar los totales mensuales no se puede apreciar de forma clara la tendencia y la estacionalidad en la serie.

El modelo está basado en metodologías de alisamiento, que tienen como objetivo encontrar valores ponderados para una serie y luego realizar predicciones en base a ellos, generando así un pronóstico. Las dos grandes categorías que existen son los Promedios Móviles y el Alisamiento Exponencial. La principal diferencia entre ellas es que la primera le da igual ponderación a los datos pronosticados, que se calculan a partir de un promedio de datos que se van moviendo en base a cada observación y el caso del alisamiento exponencial le da un mayor peso a los últimos datos por sobre los anteriores.

Holt-Winters cubre aspectos que otros modelos de alisamiento exponencial no consideran, tales como; tendencia y estacionalidad de la serie de datos. Este a su vez se sub divide en dos casos: Aditivo y Multiplicativo. El primero considera una estacionalidad que es constante en el tiempo y el segundo una creciente, conforme se avance en los períodos.

Como se ha observado en los datos, la serie cumple con las últimas condiciones y es por ello que se ha preferido utilizar Holt-Winters Aditivo por sobre otros modelos.

## Holt-Winters Aditivo

Ecuación de pronóstico

$$F_{t+m} = (S_t + T_t \cdot m)$$

Fórmula de los términos

$$S_t = \alpha \cdot (X_t - I_{t-L}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta \cdot (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot T_{t-1}$$

$$I_t = \gamma \cdot (X_t - S_t) + (1 - \gamma) \cdot I_{t-L}$$

En donde

T = Valor suavizado de la tendencia.

S = Valor suavizado de la serie desestacionalizada.

I = Valor suavizado del factor estacional.

L = Duración de la estacionalidad.

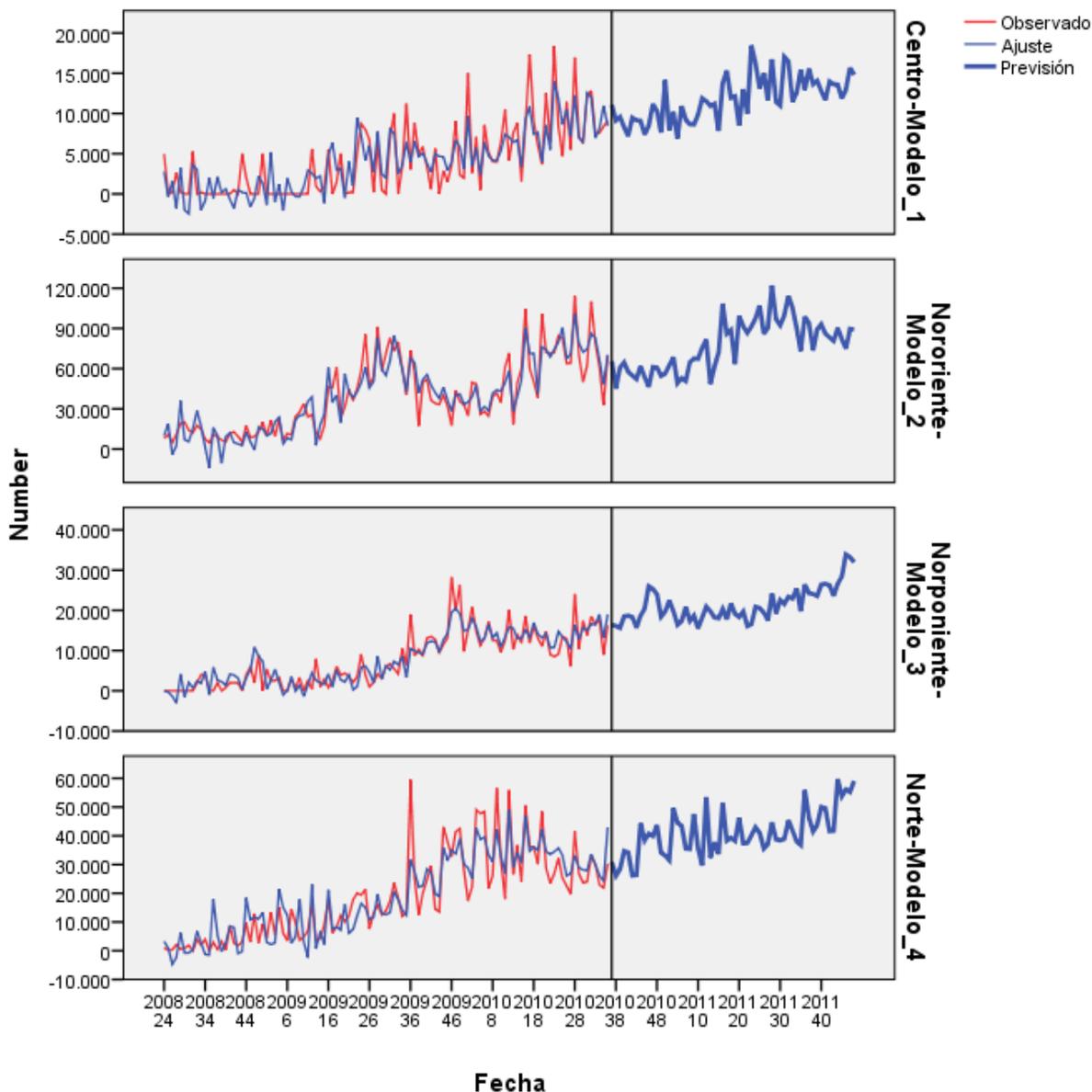
$\alpha, \beta, \gamma$  = Factores de ponderación  $\in (0,1)$

Para estimar cada una de las curvas de demanda, se ha optado por separar las ventas de acuerdo a los macro sectores a los que pertenece cada comuna, siendo estos los siguientes: Centro, Nororiente, Norponiente, Norte, Poniente, Sur, Suroriente y Surponiente. Para estimar los parámetros<sup>9</sup> que se ajusten a los modelos en análisis se ha ocupado el software IBM SPSS Statistics®.

---

<sup>9</sup> Detalles de los parámetros en Anexo N°3.

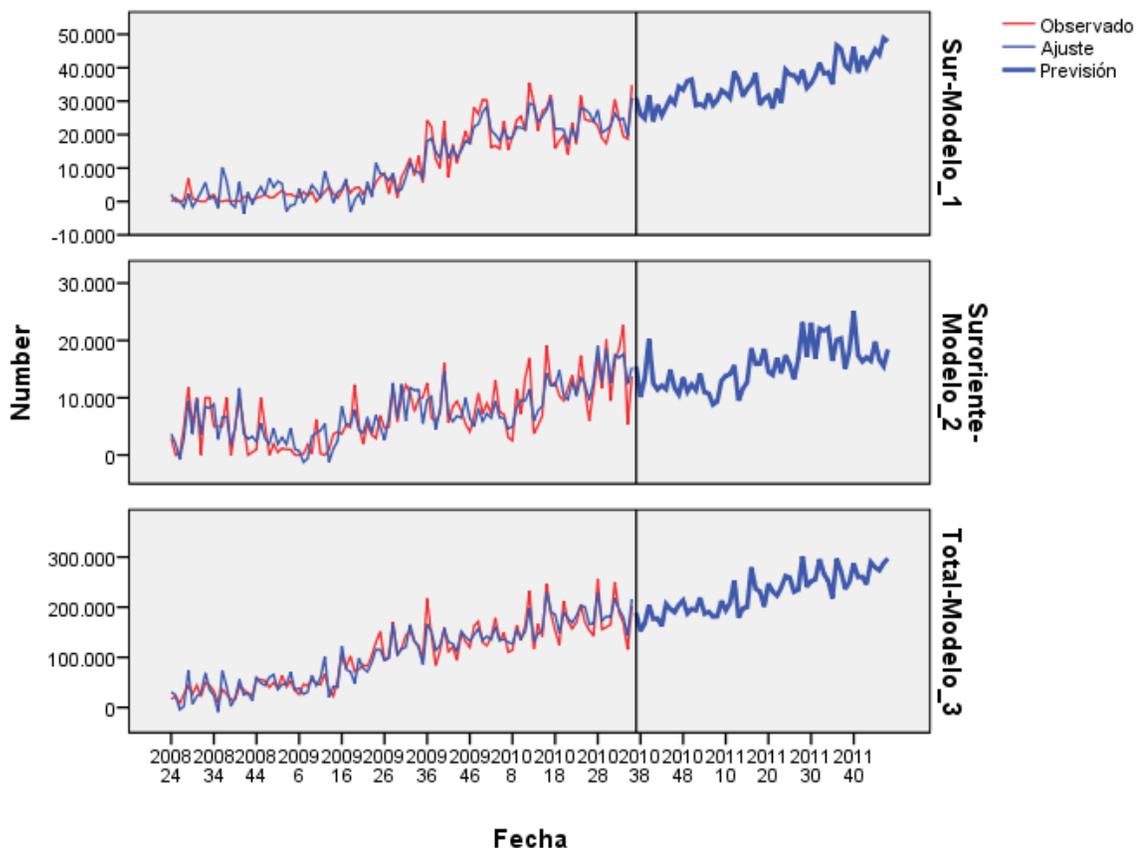
**Ilustración 12 : Predicción de demanda: Centro, Nororiente, Norponiente y Norte**



**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

En el gráfico anterior la curva roja representa el valor real histórico de la serie de datos, la delgada línea azul es la curva ajustada por el modelo y luego de la semana 38 del 2010 los datos corresponden a la predicción realizada por medio de Holt-Winters Aditivo.

**Ilustración 13 : Predicción de demanda: Sur, Suroriente y Total**

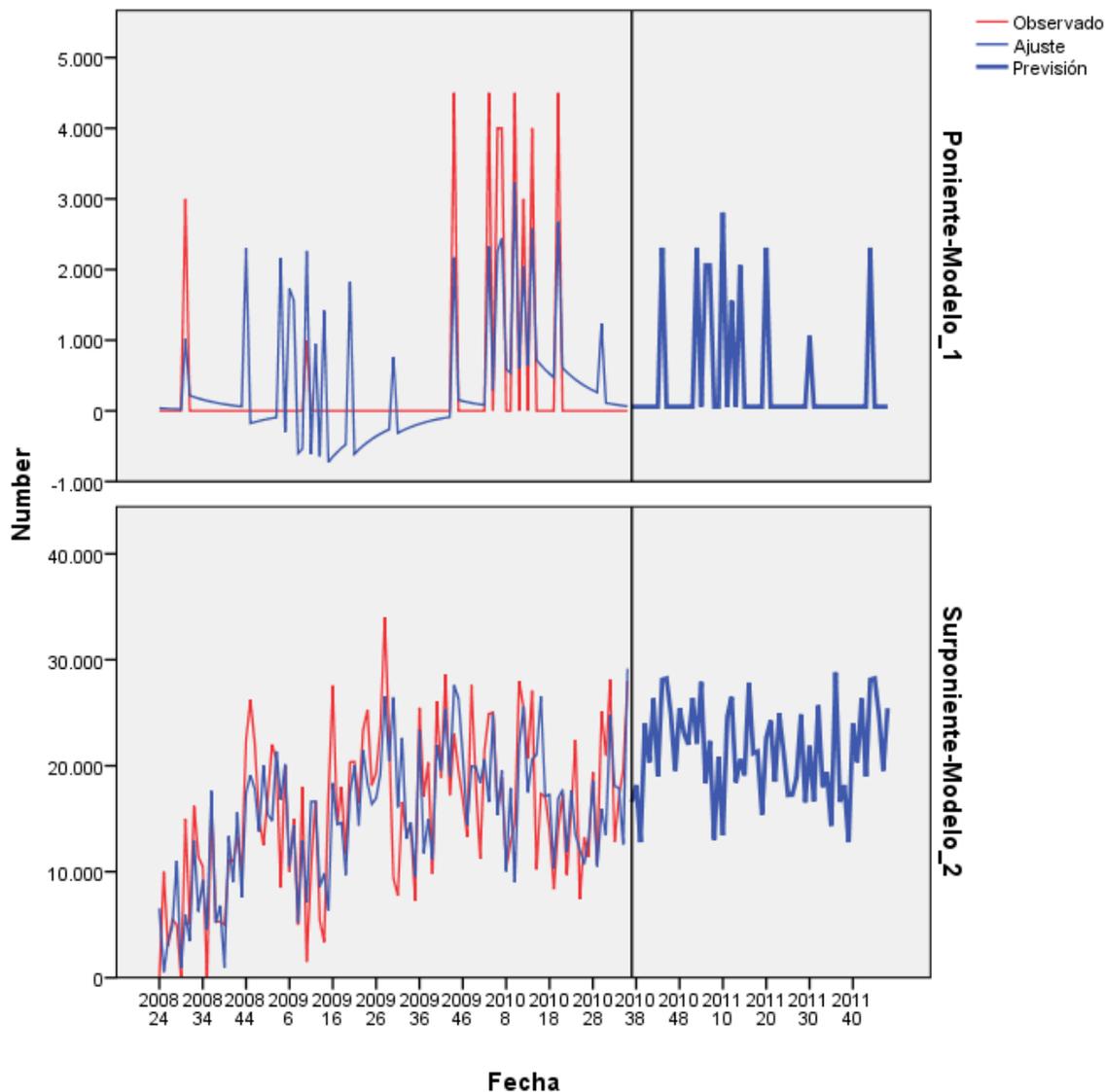


**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

Si bien la mayoría se ajusta al modelo Holt-Winters existen dos casos en que la falta de tendencia hace que la curva tenga un comportamiento cercano al de un alisamiento simple, esto se debe principalmente a que existen semanas en que no se generó venta alguna y donde también no es constante el número de pedidos, ya que ellos han sido realizados con baja frecuencia.

Las excepciones al modelo antes mencionado corresponden a los sectores: Poniente y Sur-poniente de la Región Metropolitana. A continuación se puede observar el comportamiento que presenta cada uno de ellos:

**Ilustración 14 : Predicción de demanda: Poniente y Surponiente**



**Fuente: Elaboración Propia. Datos: SGVI.**

Tal como se ha planteado anteriormente, el modelo está enfocado en determinar las localizaciones óptimas para el sector Nororiente de la ciudad, tanto por recursos computacionales y porque la metodología descrita no presenta variación alguna en caso de llevar el problema a una escala mayor. Finalmente, la demanda utilizada para la ejecución del modelo es la predicción del sector nororiente, siendo este el segundo modelo de la ilustración 12.

## 9. Crecimiento Zonas Industriales, Comerciales y Servicios

Si bien el análisis se realiza con las condiciones actuales del comercio, las industrias y los servicios, es necesario identificar los posibles cambios que puede sufrir la ubicación del cordón industrial en el largo plazo, ya que podría afectar las soluciones planteadas del modelo, esto porque se busca resolver la problemática para un período fijo y bajo condiciones al día de hoy. Actualmente, las comunas con el mayor porcentaje de uso de suelos en estas 3 áreas se pueden resumir en:

**Cuadro 10 : TOP10. Distribución m<sup>2</sup> al 2010<sup>10</sup>.**

Posición	Industrial		Comercial		Servicios	
	Comuna	% Total	Comuna	% Total	Comuna	% Total
1	Santiago	13,15%	Santiago	31,06%	Santiago	34,37%
2	Quilicura	10,11%	Las Condes	7,69%	Providencia	16,13%
3	San Bernardo	7,28%	Providencia	7,50%	Las Condes	13,10%
4	Maipú	6,62%	La Florida	5,37%	Ñuñoa	2,83%
5	San Joaquín	6,04%	Ñuñoa	3,62%	Quilicura	2,63%
6	Cerrillos	5,20%	Maipú	3,60%	Vitacura	2,20%
7	Quinta Normal	4,71%	Recoleta	3,26%	Recoleta	2,14%
8	Macul	4,53%	Estación Central	3,09%	Huechuraba	2,12%
9	San Miguel	4,43%	San Bernardo	2,50%	Estación Central	1,87%
10	Recoleta	4,33%	Vitacura	2,39%	Independencia	1,83%

**Fuente: Secretaría de Planificación de Transportes (SECTRA). Gobierno de Chile.**

Con la finalidad de analizar los posibles cambios en los polos industriales, comerciales y de servicios en la Región Metropolitana, se ha utilizado información disponible por SECTRA, quien ha realizado la proyección al año 2015 de los metros cuadrados utilizados por cada una de las áreas. Estudios que han sido construidos

<sup>10</sup> Detalles en Anexo N°2

mediante el uso de herramientas computacionales, tales como: MUSSA y ESTRAUS, que involucran un completo estudio del mercado inmobiliario y modelos de equilibrio simultáneo para proyectos estratégicos de transporte. A continuación se detallan las 10 comunas con el mayor crecimiento proyectado en el período 2010-2015.

**Cuadro 11 : TOP10. Tasa de crecimiento de m<sup>2</sup> período 2010-2015<sup>11</sup>.**

Posición	Industrial		Comercial		Servicios	
	Comuna	% Total	Comuna	% Total	Comuna	% Total
1	Calera De Tango	966,60%	San Joaquín	51,96%	Lo Barnechea	132,69%
2	Pudahuel	32,17%	Independencia	32,08%	Lo Espejo	93,86%
3	San Ramón	21,30%	Colina	30,75%	Colina	87,05%
4	El Bosque	16,87%	Cerrillos	20,94%	La Pintana	68,62%
5	Quilicura	13,46%	Maipú	19,80%	Huechuraba	56,56%
6	La Pintana	13,26%	San Bernardo	18,94%	Pedro Aguirre Cerda	53,81%
7	Colina	9,89%	La Reina	15,55%	San Joaquín	47,98%
8	Huechuraba	9,73%	El Bosque	13,37%	La Reina	45,66%
9	Lampa	9,21%	Ñuñoa	13,12%	Peñalolén	40,04%
10	San Bernardo	8,55%	Lo Espejo	11,05%	La Florida	38,84%

**Fuente: Secretaría de Planificación de Transportes (SECTRA). Gobierno de Chile**

A partir de los datos anteriores es posible identificar las zonas que tendrán un mayor crecimiento porcentual y de los cuales se puede esperar que en un futuro exista consumo de combustible, información que resulta útil para conocer cómo se verá modificado el mapa del Gran Santiago.

La solución del modelo con información de hoy podría verse modificada al aplicar las proyecciones esperadas. La importancia de realizar aquello está en determinar la mejor estrategia para abordar la solución del problema, porque se deben considerar los costos de inversión en infraestructura, modificaciones difíciles de deshacer.

<sup>11</sup> Detalles en Anexo N°2.

## 10. Construcción del Modelo Matemático

Tras haber revisado las condiciones operacionales actuales, es posible determinar cuáles variables resultan ser claves en el modelo y que deben ser consideradas como restricción. Es importante tener en cuenta que se ha planteado minimizar los costos operacionales por concepto de transporte de carga, inversión sobre la infraestructura existente y posibles modificaciones a las capacidades que posee cada Estación de Servicio.

### Sets

- $i \in I$  : Localizaciones factibles, en particular, Estaciones de Servicio que operan actualmente.
- $j \in J$  : Zonas de demanda, correspondientes a grupos de clientes del segmento en análisis.
- $t \in T$  : Períodos de tiempo.
- $v \in V$  : Tipo de Estanque Agregado.

### Parámetros

- $c_{mod}$  : Costo de modificar la Estación de Servicio para las operaciones de carguío. [\\$]
- $c_{trans1}(j)$  : Costo unitario promedio por transporte a Cliente  $j$ . [\$/((Km\*Litros))]
- $c_{trans2}(i)$  : Costo unitario promedio por transporte Planta - Estación de Servicio  $i$ . [\$/((Km\*Litros))]
- $cte$  : Valor fijo predeterminado.
- $f$  : Frecuencia de recarga estación de servicio.
- $c_{est_v}$  : Costo unitario de instalar estanque adicional de volumen  $v$ . [\$/Unidad]

- $vol_v$  : Capacidad estanque adicional tipo  $v$ . [Litros]
- $lim_{es_i}$  : Límite capacidad adicional de Estación de Servicio  $i$ . [Litros]
- $d_{jt}$  : Demanda por producto de la zona  $j$  en período  $t$ . [Litros]
- $a_i$  : Límite de suministro desde Estación de Servicio  $i$ . [Litros]
- $dist1_{ij}$  : Distancia entre instalación  $i$  y cliente  $j$ . [Km]
- $dist2_i$  : Distancia entre Planta de Almacenamiento y Estación de Servicio  $i$ . [Km]

### Variables de Decisión

- $y_{it} : \begin{cases} 1 & \text{Se utiliza Estación de Servicio } i \text{ en período } t \\ 0 & \sim \end{cases}$

Variable de decisión que determina si la Estación de Servicio  $i$  operará como centro de carguío para camiones durante un período  $t$  en particular.

- $abrir_i : \begin{cases} 1 & \text{Se utiliza Estación de Servicio } i \\ 0 & \sim \end{cases}$

Variable que indica si la Estación de Servicio  $i$  debe utilizarse, independiente del período en que este se realice.

- $x_{ijt}$

Tamaño del despacho enviado desde la Estación de Servicio  $i$  hacia el cliente  $j$  en el período  $t$ . [Litros]

- $w_{ivt} : \begin{cases} 1 & \text{Se agrega Estanque } v \text{ a Estación de Servicio } i \text{ en período } t \\ 0 & \sim \end{cases}$

Variable que indica si debe agregarse estanque adicional tipo  $v$  a los que están utilizándose en la Estación de Servicio  $i$  para el período  $t$ .

- $r_{iv} : \begin{cases} 1 & \text{Se agrega Estanque } v \text{ a Estación de Servicio } i \\ 0 & \sim \end{cases}$

Indica si debe agregarse un estanque adicional tipo  $v$  a los que están en uso para la Estación de Servicio  $i$ , independiente del período en que este se realice.

## Restricciones

- Demanda Período

$$\sum_{i \in I} x_{ijt} = d_{jt} \quad \forall j \in J, \forall t \in T$$

La demanda del Cliente  $j$  en el período  $t$  debe ser cubierta por completo con el conjunto de Estaciones de Servicio  $i$  que operarán como centro de despacho.

- Límite Volumen

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \leq \left( a_i + \sum_{v \in V} vol_v * w_{ivt} \right) * f \quad \forall i \in I, \forall t \in T$$

La suma del volumen de combustible entregado al conjunto de Clientes  $j$  desde una instalación  $i$  en el período  $t$  debe ser inferior o igual a la capacidad que posee la instalación  $i$  más la posibilidad de agregar un estanque de volumen  $v$  multiplicado por la frecuencia de recargas  $f$  de aquella Estación de Servicio.

- Entrega Máxima

$$x_{ijt} \leq \min \left\{ \left( a_i + \sum_{v \in V} vol_v * w_{ivt} \right) * f, d_{jt} \right\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

El volumen de combustible entregado por la instalación  $i$  a un cliente  $j$  en el período  $t$  debe ser menor o igual al mínimo entre la capacidad disponible de ella más estanque adicional multiplicado por la frecuencia  $f$  de recarga o el monto demandado del interesado.

- Límite de Centros

$$\sum_{i \in I} abrir_i \leq 3$$

El total de Estaciones de Servicio utilizadas como Centros de Despacho no debe superar las 3 instalaciones, según indicaciones de la compañía, dado que se considera que un número mayor podría complicar el control sobre las existencias y operaciones de ésta por parte de COPEC.

- Límite de Centros por período

$$\sum_{i \in I} y_{it} \leq 3 \quad \forall t \in T$$

El total de Estaciones de Servicio utilizadas por período como Centros de Despacho no debe superar las 3 instalaciones.

- Límite de Estanques Adicionales

$$\sum_{v \in V} r_{iv} \leq 1 \quad \forall i \in I$$

El número de estanques adicionales para la Estación de Servicio  $i$  debe ser menor o igual a uno.

- Capacidad Adicional Límite

$$\sum_{v \in V} vol_v * w_{ivt} \leq lim\_es_i \quad \forall i \in I, \forall t \in T$$

La capacidad adicional al agregar un estanque tipo  $v$  en la instalación  $i$  debe ser menor o igual al límite predeterminado para esta, calculado a partir de las características propias de la instalación.

- Relaciones Lógicas

$$x_{ijt} \leq cte * y_{it} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

$$\sum_{t \in T} y_{it} \leq cte * abrir_i \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{t \in T} w_{ivt} \leq cte * r_{iv} \quad \forall i \in I, \forall v \in V$$

donde  $cte \gg 1$

Restricciones que relacionan las distintas variables de decisión del modelo, necesarias para mantener la validez del mismo.

### Naturaleza de las Variables

- $x_{ij} \geq 0$
- $y_{it}, abrir_i, w_{ivt}, r_{iv} \in \{0,1\}$

### Función Objetivo

$$\begin{aligned} \min_{Costo\ Total} = & \sum_{i \in I} c_{mod} * abrir_i + \sum_{i \in I} \sum_{v \in V} c_{est_v} * r_{iv} \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (c_{trans1_j} * dist1_{ji} + c_{trans2_i} * dist2_i) * x_{ijt} \end{aligned}$$

El modelo minimiza la suma de los costos totales de la operación y el de inversión. El primer término de la función objetivo corresponde al costo de habilitar la Estación de Servicio seleccionada como futuro centro de despacho, el segundo al de instalar un estanque adicional y el tercero a la suma del costo por el transporte del combustible, primero entre el centro de despacho y cliente final y luego entre la planta de abastecimiento y el centro de despacho.

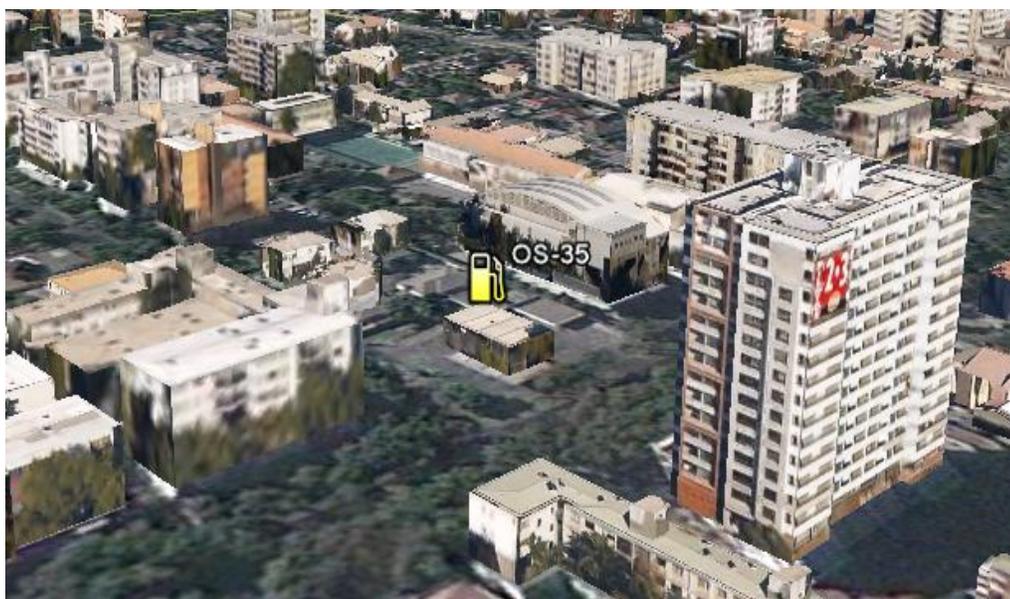
## 11. Aplicación Modelo

Habiendo planteado un modelo de optimización ajustado a las características del problema antes mencionado, el paso siguiente es establecer los parámetros a utilizar. A continuación se detalla paso a paso el trabajo previo a la ejecución del modelo.

### Identificación de Estaciones de Servicio y Clientes

Utilizando la base de datos de las Estaciones de Servicio y el software Google Earth® se han identificado espacialmente las instalaciones de la Región Metropolitana. Aquello permite obtener la coordenada geográfica exacta para cada una de las 176. A continuación se detalla la Estación 60035:

**Ilustración 15 : Localización Estación de Servicio 60035**



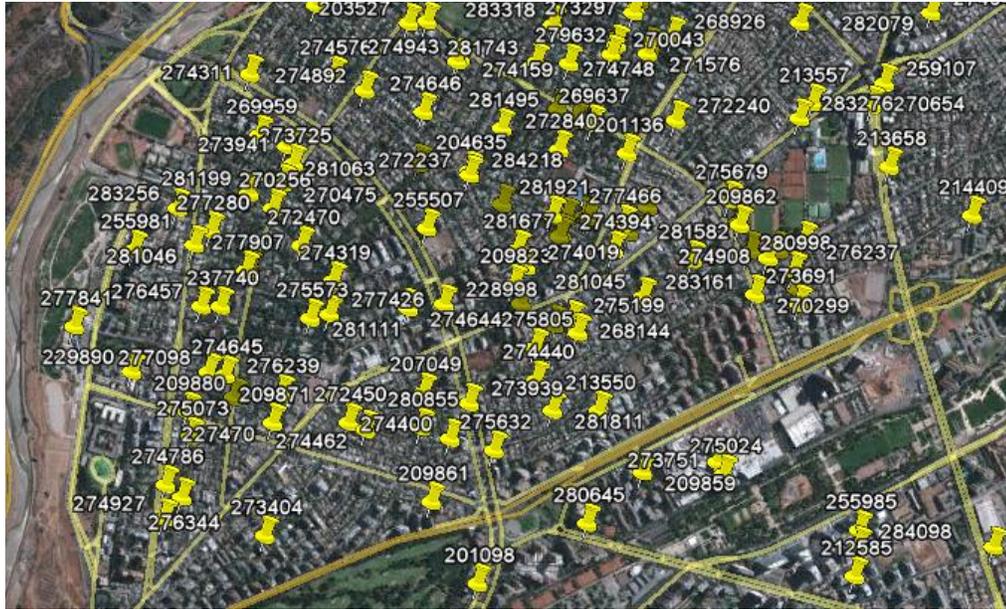
<b>Código</b>	<b>60035</b>
<b>Dirección</b>	Pedro de Valdivia N° 2142, Providencia
<b>Latitud</b>	33°26'31.72"S
<b>Longitud</b>	70°36'22.69"O

**Fuente: Elaboración propia. Ilustración: Google Earth.**

El trabajo se ha repetido para cada uno de los 1805 clientes industriales del producto DEL, lo que permite observar cuán concentrados se encuentran dentro de la

ciudad de Santiago, en particular, el nororiente. La siguiente ilustración corresponde al sector norte de la avenida Presidente Kennedy, comuna de Vitacura.

**Ilustración 16 : Identificación Clientes DEL**



**Fuente: Elaboración propia. Ilustración: Google Earth.**

La información obtenida en coordenadas geográficas se ha transformado a unidad UTM (DATUM WGS 84<sup>12</sup>), obteniendo así la proyección sobre un plano cartesiano que permite calcular la distancia mediante la siguiente fórmula:

$$dist_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

Se logra establecer una matriz de distancia entre los distintos clientes y Estaciones de Servicio, lo que resulta útil para la ejecución del modelo antes planteado. Además, útil para calcular la distancia entre la Planta de Almacenamiento y cada una de las Estaciones.

---

<sup>12</sup> WSG84: Sistema Geodésico Mundial 1984

## Estaciones de Servicio<sup>13</sup>

El modelo propuesto analiza estaciones de servicio del sector nororiente de la ciudad. Se descartan del conjunto de alternativas aquellas que cumplan las siguientes condiciones:

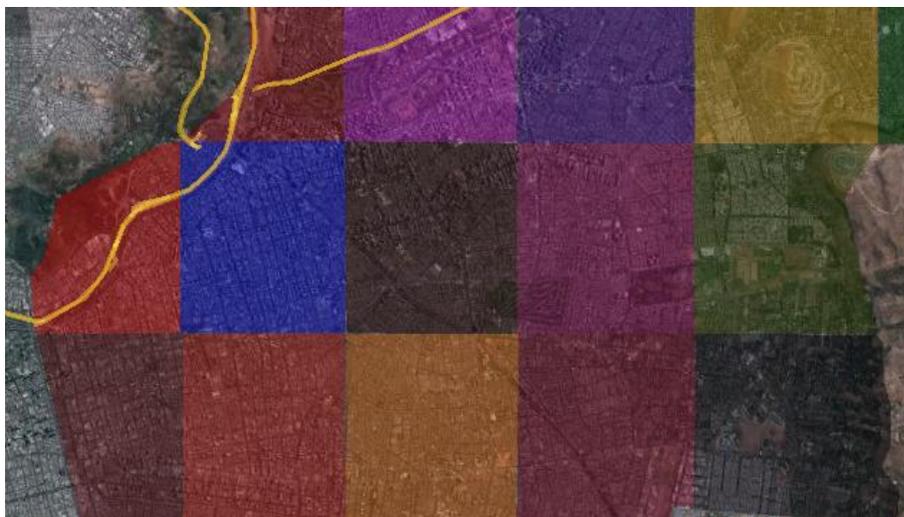
- Ubicación dentro de autopistas concesionadas, por ejemplo, Costanera Norte.
- Carecer de espacio suficiente para instalar un dispensador junto a una nueva isla de carguío (Igual o superior a 40m<sup>2</sup>).
- El concesionario es filial de Copec (Ades o Prime Ltda.).

Las alternativas restantes se han agrupado en: Alta y Baja, donde la primera son las que poseen las mejores condiciones de usabilidad, en cambio, en la otra se incluyen las que pueden presentar algún problema por el flujo vehicular dentro o cerca de la Estación y en las que el *layout* no permite instalar con gran holgura un dispensador extra. El escenario base sólo considera la categoría alta.

## Zonas de Clientes

Se ha optado por segmentar la superficie en zonas de 5 km<sup>2</sup>, las que se han determinado al generar una cuadrícula sobre las comunas del sector nororiente. Cada una agrupa a los clientes que se encuentren dentro de ella. El número de parámetros se redujo de 1048 clientes a 35 zonas de clientes.

**Ilustración 17 : Identificación Zonas de Demanda**



**Fuente: Elaboración propia. Ilustración: Google Earth.**

---

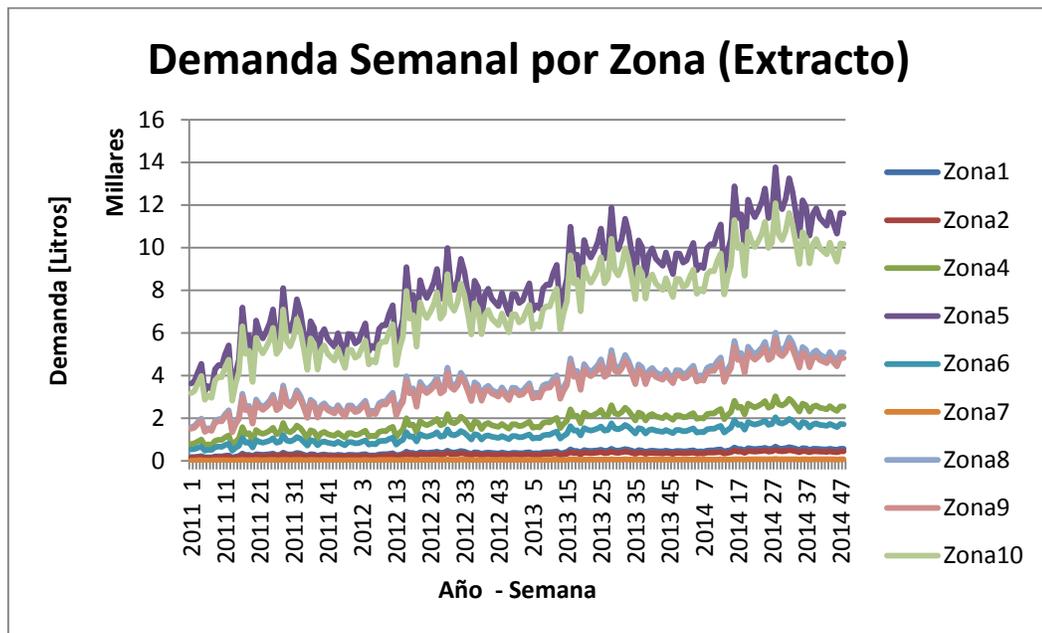
<sup>13</sup> Detalles en Anexo N°4.

Las zonas concentran el volumen demandado de los clientes que agrupan, siendo el centro de gravedad la coordenada de la que se obtiene la ubicación geográfica.

## Demanda de Zonas

Tras haber estimado la curva de consumo agregado del sector nororiente y la predicción para los períodos siguientes es posible determinar la demanda futura de cada zona, al suponer que existe una conservación de la proporción histórica de participación dentro del sector, ello porque en el corto plazo no se espera una modificación del volumen de venta. Sin embargo, es necesario considerar el crecimiento del uso de suelo en el Gran Santiago, el que se ha aplicado en el análisis de sensibilidad.

**Ilustración 18 : Extracto Demanda Semanal por Zona**

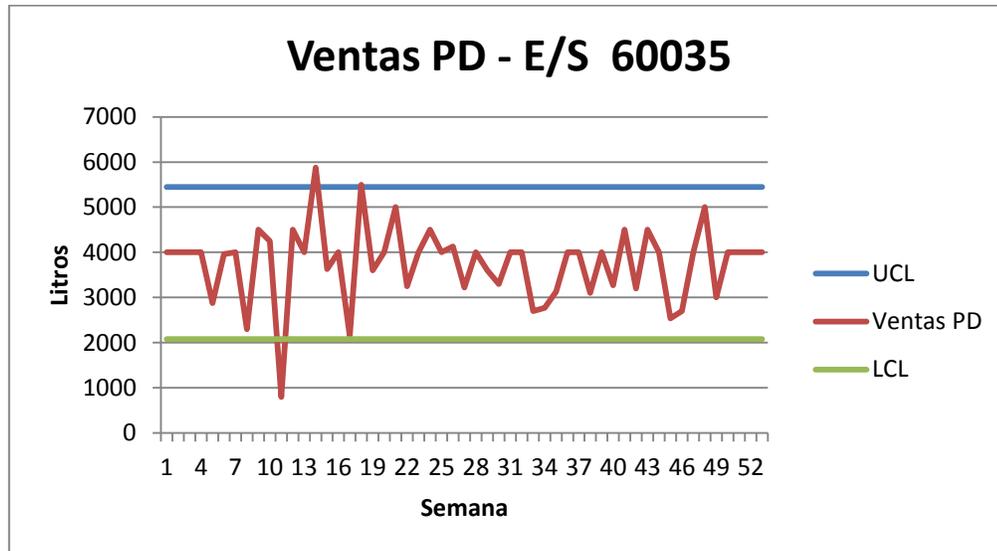


**Fuente: Elaboración propia**

## Límite de Suministro

Estudiando el nivel de venta semanal, para cada una de las Estaciones, es posible determinar la capacidad disponible, de manera que ambos negocios: distribución a vehículos y clientes industriales, puedan coexistir sin generar conflicto por escasez de combustible al compartir la instalación. A modo de ejemplo se grafican los niveles de venta de petróleo diesel (PD) de la instalación 60035 en el período 2010.

**Ilustración 19 : Ventas PD – E/S 60035**



**Fuente: Elaboración propia**

Los niveles UCL y LCL pertenecen a una banda que asegura con un 95% de probabilidad que los datos de la curva ventas están dentro de ella, esto se ha elaborado a partir de:

$$UCL = \bar{x} + 2 \cdot \sigma \quad LCL = \bar{x} - 2 \cdot \sigma$$

Donde  $\bar{x}$  es el promedio anual de ventas y  $\sigma$  es la desviación estándar de los datos utilizados.

Este proceso se ha realizado para cada uno de los casos y con ello se establece el parámetro que restringirá la disponibilidad total para abastecer a clientes. El valor se ha calculado considerando la capacidad total que tiene la instalación menos el nivel UCL (*Upper Control Limit*), ya que este último representa el máximo nivel que pueden alcanzar las ventas durante el período en análisis.

**Cuadro 12 : Suministro Límite Semanal E/S 60035**

<b>E/S 60035</b>	
<b>Capacidad PD</b>	15.000 Litros
<b>UCL</b>	5.444 Litros
<b>Disponibilidad</b>	9.556 Litros

**Fuente: Elaboración propia.**

## Capacidad Adicional Límite por E/S

Debido a que ingresar proyectos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) es un proceso que requiere tiempo de planificación, presentar la documentación ante las autoridades respectivas y posteriormente esperar la resolución de ella, es que se ha optado por un análisis en que este trámite no sea un impedimento para llevar a cabo el proyecto de ampliación de instalaciones.

Estaciones de Servicio que se proyecten con capacidades iguales o superiores a 120.000 litros por normativa deben ser sometidas ante las comisiones ambientales, por lo tanto, se ha definido como la capacidad adicional límite la diferencia entre los 119.000 litros y la capacidad instalada, la que eventualmente podría ser cubierta con la instalación de un estanque adicional, proveyendo un mayor volumen de combustible.

**Cuadro 13 : Capacidad Adicional Límite E/S 60035**

<b>E/S 60035</b>	
<b>Límite</b>	119.000 Litros
<b>Capacidad Actual</b>	89.000 Litros
<b>Diferencia</b>	30.000 Litros

**Fuente: Elaboración propia.**

## Estanques

Los estanques adicionales que incorpora el modelo corresponden a los que con mayor frecuencia se instalan. Si bien estos pueden ser fabricados con especificaciones particulares, se ha optado por los de volumen tradicional. Las distintas capacidades disponibles son las siguientes:

- 50 m<sup>3</sup>
- 40 m<sup>3</sup>
- 30 m<sup>3</sup>
- 20 m<sup>3</sup>
- 15 m<sup>3</sup>

## Costo Inversiones

Los costos asociados de modificar las instalaciones, para la puesta en marcha de las operaciones, se pueden separar en dos tipos:

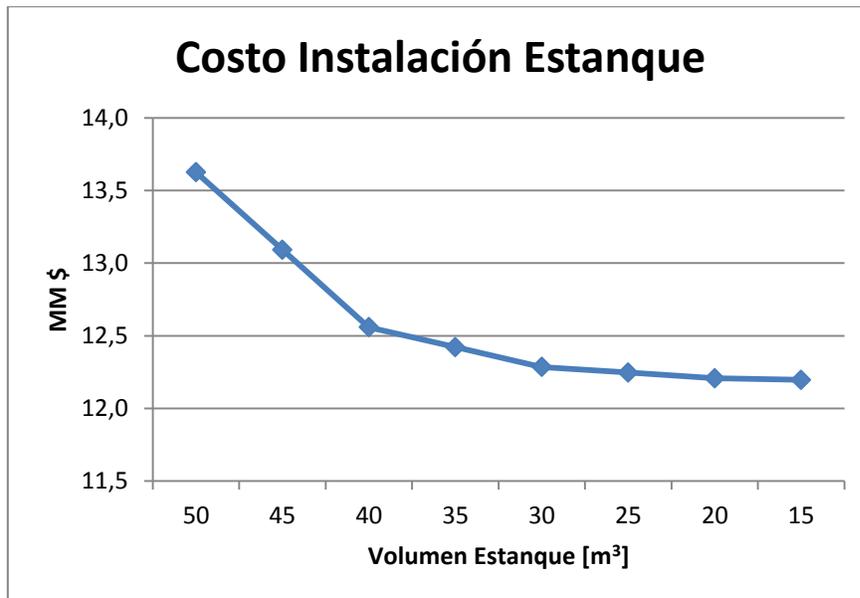
## Modificación de Instalación<sup>14</sup>

Las obras civiles incluyen la instalación de líneas de impulsión y accesorios, una nueva isla de carguío, *canopy*, pavimentos y un surtidor de combustible, totalizando un costo promedio de \$ 9.241.648 pesos.

## Estanque Adicional<sup>15</sup>

Otro ítem importante es el costo de adquirir un nuevo estanque y la instalación de este en la estación de servicio. Los costos varían de acuerdo al volumen seleccionado, siendo los siguientes:

Ilustración 20 : Costo Instalación Estanque



Fuente: COPEC.

Abrir una estación de servicio como centro de despacho requiere que se realice inversión sobre la instalación. Sin embargo, agregar un nuevo estanque no es obligatorio, a menos que ello minimice el costo de traslado asociado a reubicar el centro de carguío o porque la capacidad de este sea inferior a lo solicitado por el conjunto de clientes que atiende.

<sup>14</sup> Fotografías en Anexo N°5.

<sup>15</sup> Infografía en Anexo N°6.

Además, dado que el proyecto es inferior a la vida útil del estanque, los que generalmente alcanzan 15 años, el costo incorporado al modelo se ha calculado proporcional al horizonte de evaluación, que en este caso es de 4 años. A diferencia de una nueva isla y surtidor esta inversión resulta ser útil para el negocio tradicional de las estaciones de servicio: la venta a vehículos, siendo beneficiada la instalación en caso que se desee abandonar su uso como centro de carguío.

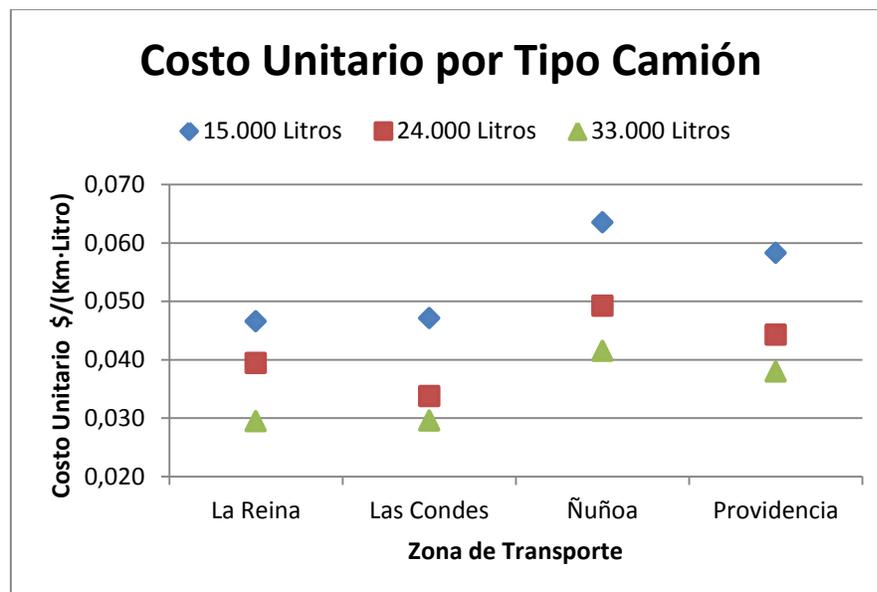
## Costo Traslado

Los costos de traslado pueden agruparse en dos: el primero relacionado al movimiento del producto entre la Planta de Almacenaje y la Estación de Servicio que funcionará como centro de carguío y el segundo con el costo de trasladar combustible desde la Estación al cliente final.

### Planta – Estación de Servicio

A continuación se detalla el costo unitario según el formato de camión, los cuales operan desde Planta Maipú y que reúnen las condiciones necesarias para despachar petróleo diesel a gran volumen.

**Ilustración 21 : Costo Unitario por Tipo de Camión**



**Fuente: Subgerencia de Ventas Industriales.**

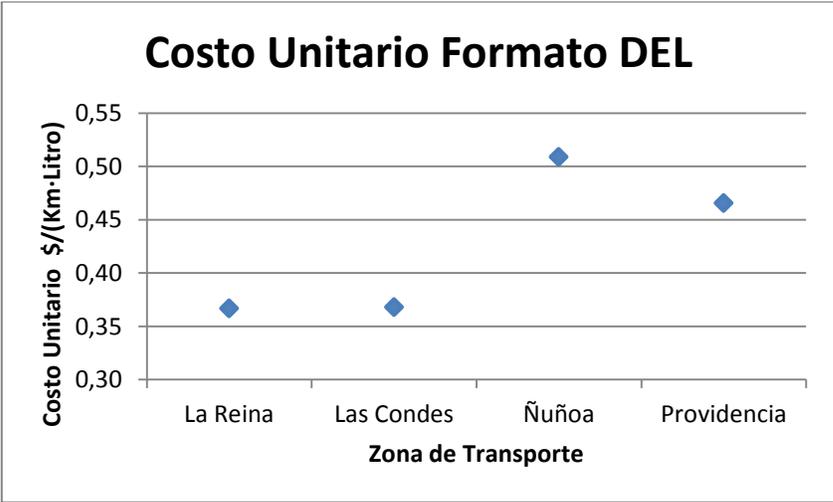
Las zonas de transporte han sido definidas previamente por la Subgerencia de Logística, en la que la tarifa por flete varía de acuerdo hacia donde se moviliza el producto. Un caso especial es Las Condes, quien agrupa a clientes de las siguientes comunas: Las Condes, Vitacura y Lo Barnechea.

Estos valores representan el costo tradicional del transporte, donde se aprecia que a menor capacidad existe un aumento en el precio a pagar, debido a que esto busca compensar que el traslado de menos litros implique ingresos muy inferiores al promedio. En particular, el análisis se restringirá al uso de camiones de 33 m<sup>3</sup>, esto porque se busca estimar el ahorro máximo potencial.

**E/S – Cliente**

A diferencia del costo anterior el formato DEL utiliza vehículos de una flota especialmente acondicionada, lo que ha generado que los incentivos económicos sean distintos a un modelo tradicional, a continuación se detallan estos valores:

**Ilustración 22 : Costo Unitario Camión Formato DEL**



**Fuente: Subgerencia de Ventas Industriales**

**Frecuencia y Constante**

Los últimos parámetros por fijar corresponden a la frecuencia de recarga de las estaciones de servicio y la constante que permite al modelo mantener las relaciones lógicas. Se han planteado dos recargas semanales, lo que permite mantener un flujo constante de combustible a la instalación para luego redistribuir a los clientes finales en camiones pequeños. La constante se ha determinado como un valor lo suficientemente grande para que se encuentre sobre el máximo volumen demandado por las zonas en todo período.

## Software de Programación

El software seleccionado para resolver el modelo es GAMS® versión 23.5 (*General Algebraic Modeling System*) debido a la baja complejidad en la programación y por contar con un gran número de paquetes de optimización, entre ellos destaca CPLEX, herramienta útil para resolver, por ejemplo, grandes problemas de optimización mixtos y lineales, tal como el caso planteado<sup>16</sup>.

## 12. Validación

La validación del modelo se ha realizado en conjunto con la Subgerencia de Ventas Industriales, donde se han presentado las restricciones del problema y la metodología utilizada en la construcción de éste, de acuerdo a los requerimientos que habían sido planteados en un comienzo del trabajo. También las soluciones parciales que entrega, cumpliendo a cabalidad con las necesidades de la empresa.

Además, para asegurar la calidad de las soluciones, inicialmente se ha testeado con parámetros y una proyección de demanda controlada, limitando el número de períodos, de esta forma resulta ser de baja complejidad analizar los valores de las soluciones entregadas, pudiendo identificar fácilmente la existencia de errores en la formulación del modelo al constatar que no se cumplan ciertas condiciones impuestas.

Finalmente, las distintas restricciones propuestas han sido resueltas de forma correcta y sobre todo aquellas que tienen relación con que el volumen por despachar debe ser igual a la sumatoria del volumen demandado por cada zona. Por lo tanto, tras haber sido aprobado sin reparos, se ha procedido a continuar con la resolución para estimar los beneficios que implica la implementación de este.

---

<sup>16</sup> En Anexo N°7 se detalla el código de programación en lenguaje GAMS.

### 13. Resultados

El principal resultado del modelo es la identificación de las Estaciones de Servicio óptimas, que de utilizarse pueden minimizar el pago por el concepto de traslado de combustible. Además, es posible obtener el período en que ellas deben habilitarse, analizando la necesidad de adicionar un estanque extra, la capacidad de él y el momento en que debe realizarse.

Otro ítem posible de cuantificar es el volumen total del período por estación y el número de clientes atendidos, midiendo así la calidad de la solución al determinar las distancia promedio a los centros de despacho versus la continuidad del actual esquema.

A continuación se detallan los resultados obtenidos, en base a los parámetros descritos anteriormente:

**Cuadro 14 : Resultados Caso Base**

Estación de Servicio	Dirección	Comuna	Inicio de Operación
60037	Vitacura N° 6380	Vitacura	1er Trimestre
60255	Tobalaba N° 5439	Ñuñoa	
60370	Manuel Montt N° 1118	Providencia	

Estación de Servicio	Capacidad Estanque	Inicio de Operación
60255	30.000 Litros	3er Trimestre

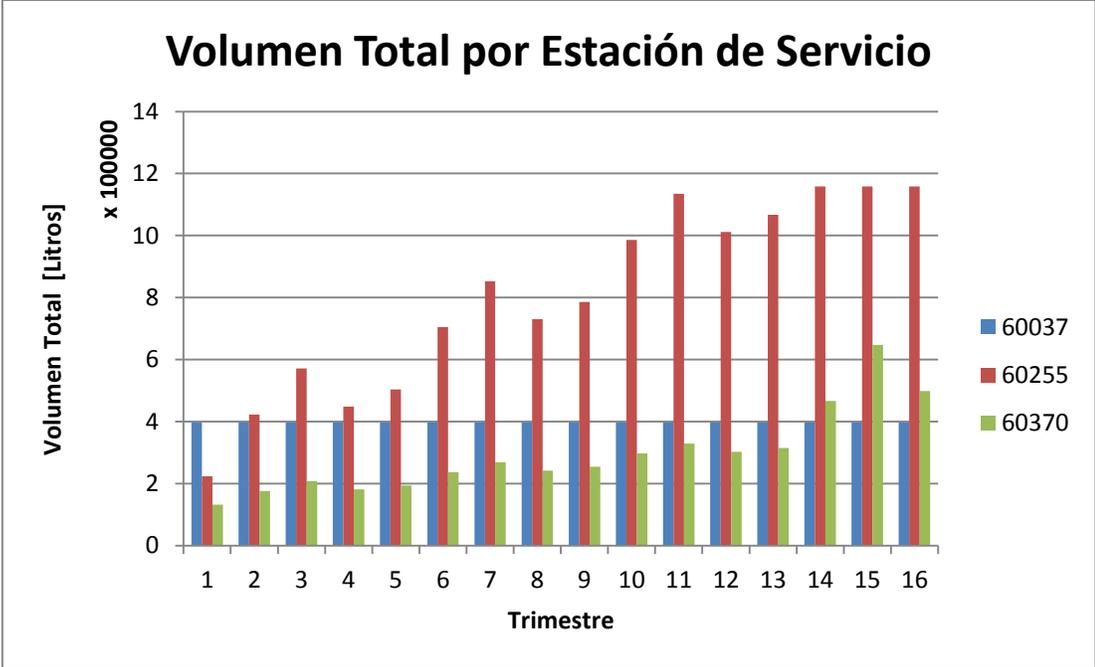
**Fuente: Elaboración propia.**

El modelo resuelve para este caso operar con 3 estaciones de servicio, distribuidas entre las comunas de: Vitacura, Ñuñoa y Providencia, siendo abiertas desde el primer trimestre del período en análisis. Además, a partir del tercer trimestre la E/S de Ñuñoa (60255) debe comenzar con la operación de un nuevo estanque de capacidad igual a 30 m<sup>3</sup>, esto permite aumentar la capacidad de almacenaje, cubriendo las necesidades de la cartera de clientes que le ha sido definida.

Es necesario observar el volumen de venta total por cada uno de los centros de despacho, disponible en la ilustración 20. Un caso particular es el de la 60037 que desde el primer trimestre opera a un 100%, esto debido a que actualmente no posee gran capacidad ociosa. Además, no es posible aumentar la disponibilidad dado que una de las restricciones planteadas limita el volumen del estanque adicional en función de la

diferencia entre la capacidad instalada y los 119 m<sup>3</sup>, ya que esto hace innecesario realizar una evaluación ambiental, en particular esta diferencia es igual a 14 m<sup>3</sup>, valor inferior a la capacidad mínima definida para estanques adicionales. Si bien no es posible agregar un nuevo estanque, esto no limita al modelo seleccionarla para disminuir la distancia al cliente final, aprovechando la capacidad que deja libre el negocio de venta a vehículos.

**Ilustración 23 : Volumen Total por Estación de Servicio Solución Base**



**Fuente: Elaboración propia.**

La evolución de las ventas y el constante crecimiento que experimenta el producto hacen que sea necesario aumentar la capacidad utilizada de cada uno de los centros de despacho. A esto se suma que durante el tercer trimestre opera un nuevo estanque, ampliando la oferta de combustible y potenciándose la participación de la E/S 60255 en la distribución.

El número de clientes atendidos por cada centro cambia trimestralmente, a medida que las demandas crecen las zonas se redistribuyen entre las distintas E/S que operan. Debido a que existe flexibilidad en la distribución, es decir, una zona puede ser proveída por más de un centro, se agrega un indicador que permite detallar número total de abastecidos por más de un distribuidor. Sin embargo, los resultados demuestran que esto sucede en un número limitado de casos, en la que el valor máximo no supera dos zonas por trimestre. A continuación se detallan los valores obtenidos:

**Cuadro 15 : Número Zonas Atendidas por E/S**

Trimestre	Número de Zonas Atendidas por E/S			Zonas Compartidas
	60037	60255	60370	
1	17	11	7	1
2	15	12	8	1
3	11	16	8	1
4	13	14	8	1
5	13	14	8	1
6	9	18	8	1
7	9	18	8	1
8	9	18	8	1
9	9	18	8	1
10	8	19	8	1
11	8	19	8	1
12	8	19	8	1
13	8	19	8	1
14	8	19	9	2
15	7	19	10	2
16	8	19	9	2

Fuente: Elaboración propia.

Lo que podría haber sido un complejo escenario, al tener un gran número de zonas abastecidas por varias E/S, no se genera en esta solución, siendo un gran beneficio para el cliente final y la compañía, debido a la simplificación de las operaciones. Los valores de la implementación se pueden dividir en los siguientes ítems:

**Cuadro 16 : Costo Solución Base**

Descripción	Valor
Modificar E/S	\$ 27.725.000
Agregar Estanque	\$ 3.062.800
Traslado Planta-E/S	\$ 35.138.200
Traslado E/S-Cliente DEL	\$ 83.631.100
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 149.560.000</b>

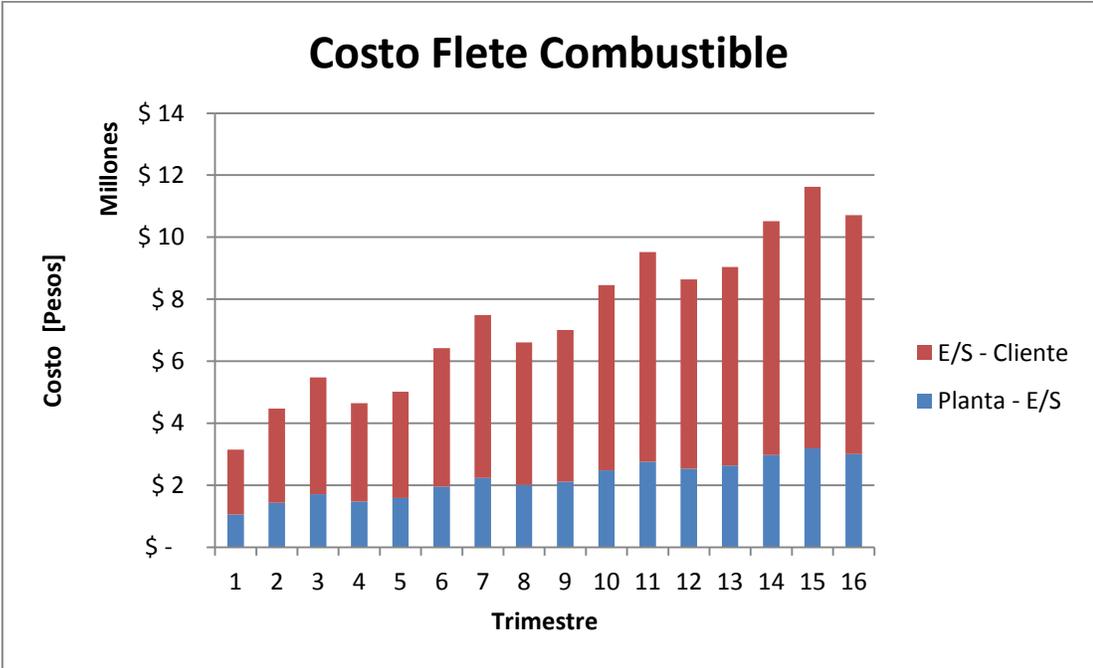
Fuente: Elaboración propia.

Los costos asociados a las modificaciones de las estaciones son las obras civiles para la puesta en marcha del servicio de distribución, siendo directamente proporcional al número de E/S por habilitar. El estanque adicional es el costo en que se incurre por la habilitación e instalación de este, donde el valor descrito es  $\frac{4}{15}$  del total, debido a que está evaluado en función a los 4 años de operación por sobre los 15 de vida útil.

Los costos de traslado están asociados al transporte del combustible, la separación en estos en dos descripciones distintas se debe a que el abastecimiento desde la planta de almacenaje a la E/S se ha dispuesto realizar en camiones de formato tradicional (33 m<sup>3</sup>), los que tienen un costo promedio inferior al de los contratos realizados con los transportistas DEL, quienes solo se limitarían a movilizar el producto desde la E/S al cliente final.

El siguiente gráfico detalla el costo trimestral del flete, en función al volumen de venta proyectado:

**Ilustración 24 : Costo Flete Solución Base**



**Fuente: Elaboración propia.**

El costo total de la solución propuesta, asciende a MM\$150 de pesos en los 4 años de operación, monto inferior al de continuar con el actual modelo, el que puede bordear los MM\$428 de pesos en el mismo período, generando un ahorro final de 65%. El detalle por año de servicio se resume en la siguiente tabla, en ella los costos para la

puesta en marcha: infraestructura e instalación de estanques, se han agregado por única vez al de transporte en el “Año 1”.

**Cuadro 17 : Costos Anuales Solución Base**

<b>Costos [MM\$]</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Original</b>	70,3	94,7	119,1	143,4	427,5
<b>Solución</b>	48,5	25,5	33,6	41,9	149,6
<b>Diferencia</b>	21,8	69,2	85,5	101,5	277,9
				<b>AHORRO</b>	<b>65%</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

Otro punto de interés es la disminución de la distancia promedio entre el centro de despacho y el cliente final. Si bien la distancia recorrida de los camiones es la misma, la percepción del cliente está sobre el último tramo, ya que para este la distribución se genera en la estación de servicio que le ha sido designada por cercanía. La disminución de la distancia es de un 76%, lo que permite mejorar la capacidad de reacción, atendiendo una solicitud en un tiempo inferior al promedio actual. Las distancias por comuna son las siguientes:

**Cuadro 18 : Distancia Promedio Cliente – Centro de Despacho**

<b>Sector</b>	<b>Distancia Promedio Original [Kms]</b>	<b>Distancia Promedio Solución [Kms]</b>	<b>Variación %</b>
La Reina	21,75	3,40	-84%
Las Condes	24,13	5,06	-79%
Lo Barnechea	29,02	9,39	-68%
Nuñoa	16,74	2,30	-86%
Providencia	17,35	1,63	-91%
Vitacura	22,71	3,15	-86%
<b>Promedio Ponderado</b>	<b>21,95</b>	<b>5,16</b>	<b>-76%</b>

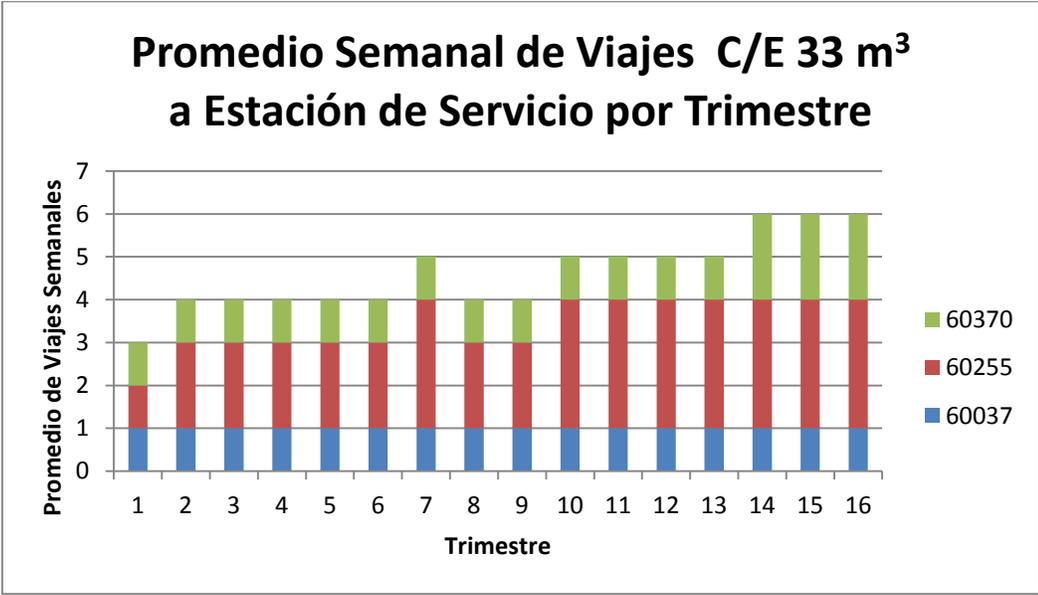
**Fuente: Elaboración propia.**

El número de viajes adicionales para la recarga de las estaciones de servicio, por la venta de combustible a pequeños industriales, se verá incrementado en 3 camiones

semanales para la de mayor participación (60255) y en las restantes alcanzará un máximo de 2 y 1. Estos valores se han calculado en base a camiones de 33 m<sup>3</sup>.

El siguiente gráfico muestra la composición promedio semanal de camiones adicionales por trimestre y centro de despacho:

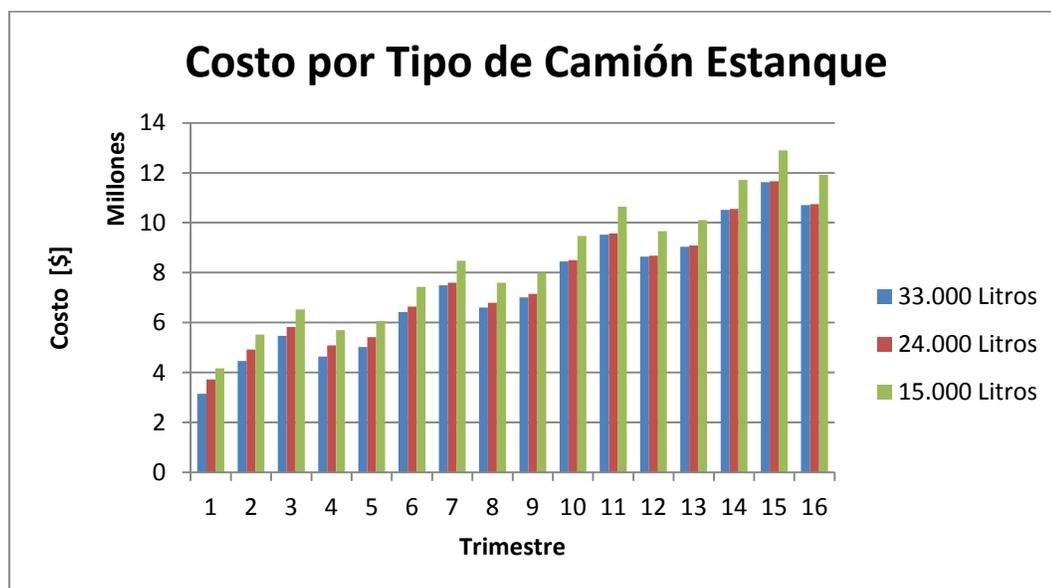
**Ilustración 25 : Promedio Viajes Adicionales Solución Base**



**Fuente: Elaboración propia.**

A modo de comparación la ilustración 26 muestra los costos de operar con los distintos formatos de vehículos existentes para el transporte de combustible, enfocado siempre al servicio entre la Planta de Almacenamiento y las Estaciones de Servicio. En él es posible identificar que el mejor rendimiento corresponde al formato de 33 m<sup>3</sup>.

**Ilustración 26 : Costo Trimestral Solución Base por Tipo de Camión**



Fuente: Elaboración propia.

Los costos graficados anteriormente corresponden a los valores óptimos de cada formato, los que generan distintas soluciones al problema propuesto. Estas soluciones difieren en las E/S seleccionadas, estanques adicionales y la capacidad de estos. A continuación se resumen las principales características en función al tipo de vehículo seleccionado.

**Cuadro 19 : Resumen Solución Base por Camión Estanque**

Solución	Estación de Servicio	E/S con Estanque Extra	Capacidad Estanque [Litros]	Costo Total [MM\$]
33.000 Litros	60037	60255	30.000	<b>149,56</b>
	60255			
	60370			
24.000 Litros	60035	60035 60255	15.000 30.000	<b>155,64</b>
	60073			
	60255			
15.000 Litros	60073	60255	30.000	<b>166,69</b>
	60255			
	60370			

Fuente: Elaboración propia.

### 13.1. Otras Soluciones

Para conocer que tan crítica e indispensable resulta ser cada una de las E/S de servicio entregadas como solución, se ha optado por verificar cual podría reemplazar alguna de ellas, manteniéndose fijas las otras dos.

**Cuadro 20 : Resumen Otras Soluciones**

Nº	E/S Por Reemplazar	Nueva Solución	E/S con Estanque Extra	Capacidad Estanque [Litros]	Costo Total [MM\$]	Diferencia Solución Original [MM\$]
1	60037	60073	60255	30.000	153,6	+4,03
		60255				
		60370				
2	60255	<b>SIN SOLUCIÓN</b>				
3	60370	60037	60255 60035	30.000	152,7	+3,06
		60255		20.000		
		60035				

**Fuente: Elaboración propia.**

Sólo resultan ser viables las opciones 1 y 3 como reemplazo ante un evento extraordinario que inhabilite alguna de las dos E/S: 60037 o 60370 para operar como Centro de Despacho. El segundo caso demuestra la relevancia de la E/S 60255, ya que ésta permite abastecer gran parte del volumen demandado, por lo que sin ella no existe solución que cumpla las restricciones impuestas. Desde una perspectiva económica, optar por alguna de las dos soluciones factibles no genera grandes diferencias con respecto a la original, permitiéndoles ser una excelente segunda opción.

## 14. Análisis de Sensibilidad

Con la finalidad de verificar cómo afectan las modificaciones de los distintos parámetros del modelo a la solución final y medir el impacto que ellos tienen, se ha optado por realizar análisis de sensibilidad. Las características que se han intervenido son: número de localizaciones factibles, demanda, límite de centros de despacho y variación de los costos, dejando el resto de los parámetros constantes.

### 14.1. Localizaciones factibles

En un principio las posibles localizaciones se habían segmentado en dos conjuntos, si bien ambas categorías tienen los requisitos necesarios para ser centros de despacho, el grado en que ellas lo cumplen difiere. El problema original ha sido resuelto con la denominada categoría “alta”, pero en este análisis también se ha incluido la llamada “baja”. Por lo tanto, lo que se ha realizado es ampliar el universo de posibilidades a 28 estaciones de servicio desde las 20 iniciales. Los principales resultados obtenidos son los siguientes:

**Cuadro 21 : Solución Sensibilidad de Localizaciones Factibles**

Estación de Servicio	Dirección	Comuna	Inicio de Operación
60252	Apoquindo N° 7925	Las Condes	1er Trimestre
60392	Los Leones N° 2347	Providencia	
60712	La Dehesa N° 2016	Lo Barnechea	

Estación de Servicio	Capacidad Estanque	Inicio de Operación
60252	40.000 Litros	3er Trimestre

**Fuente: Elaboración propia.**

A pesar que el número de estaciones por abrir se conserva en 3, respetando el máximo impuesto en un comienzo, las que ha seleccionado el modelo son distintas a las originales, desplazándose hacia el noreste de la ciudad, descartando utilizar alguna en la comuna de Ñuñoa. Sin embargo, el estanque adicional sigue siendo solo uno y el período en que las estaciones y el estanque deben entrar en operación no presenta variación alguna.

El mayor impacto de la nueva solución está en la disminución de los costos, incrementando en 6% el ahorro final, equivalente a MM\$25,7 de pesos durante los cuatro años de operaciones.

**Cuadro 22 : Costos Anuales. Sensibilidad de Localizaciones Factibles**

<b>Costos [MM\$]</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Original</b>	70,3	94,7	119,1	143,4	427,5
<b>Sensibilidad 1</b>	45,5	19,9	25,4	31,3	122,1
<b>Diferencia</b>	24,8	74,8	93,7	112,1	305,4
				<b>AHORRO</b>	<b>71%</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

La variación en la distancia promedio mejora un 9% respecto a la solución obtenida con los parámetros originales, disminuyendo desde 5,16 a 3,27 kilómetros la distancia entre cliente y los distintos centros de despacho, implicando la disminución de un 85% frente al sistema actual. A continuación se presentan los valores por comuna:

**Cuadro 23 : Distancia Promedio a Clientes. Sensibilidad de Localizaciones Factibles**

<b>Sector</b>	<b>Distancia Promedio Original [Kms]</b>	<b>Distancia Promedio Sensibilidad 1 [Kms]</b>	<b>Variación %</b>
La Reina	21,75	4,83	-78%
Las Condes	24,13	2,89	-88%
Lo Barnechea	29,02	3,19	-89%
Ñuñoa	16,74	2,54	-85%
Providencia	17,35	2,20	-87%
Vitacura	22,71	4,48	-80%
<b>Promedio Ponderado</b>	<b>21,95</b>	<b>3,27</b>	<b>-85%</b>

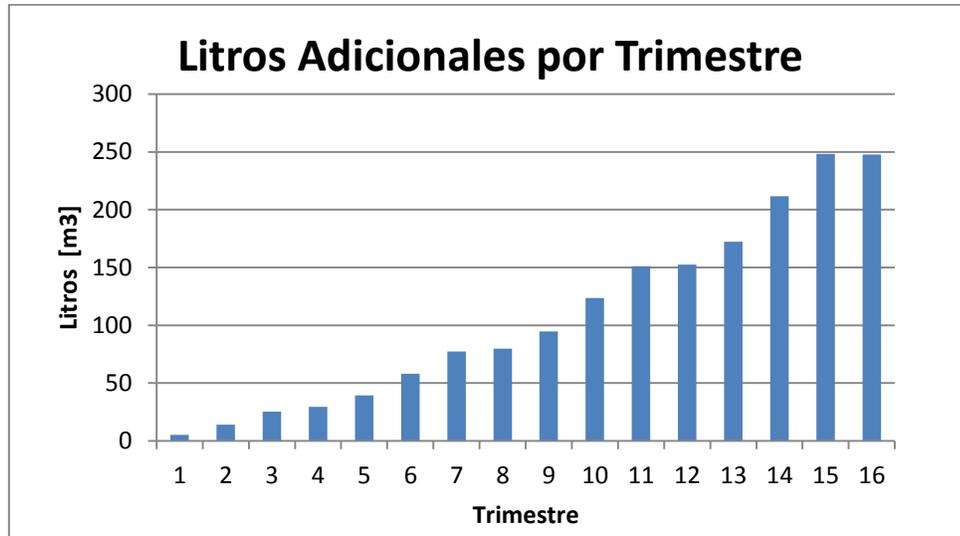
**Fuente: Elaboración propia.**

## **14.2. Demanda Corregida**

Tal como se ha planteado en capítulos anteriores un crecimiento en la superficie construida puede generar un crecimiento en el consumo de combustible. Para corregir esto se han utilizado proyecciones de los metros cuadrados para el año 2015 de 3 de

los principales sectores de la economía: industria, comercio y servicios, variable que no había sido considerada en los análisis.

**Ilustración 27 : Litros Adicionales por Trimestre**



**Fuente: Elaboración propia.**

La nueva demanda se ha elaborado de acuerdo al crecimiento porcentual esperado por semestre, donde este valor depende exclusivamente de la comuna principal en la que se emplaza la zona. Se espera que el consumo proyectado de combustible crezca en 1.731 m<sup>3</sup>, lo que equivale a un 7,2% adicional a lo pronosticado originalmente.

Los resultados obtenidos bajo esta nueva condición son los siguientes:

**Cuadro 24 : Solución Sensibilidad de Demanda**

Estación de Servicio	Dirección	Comuna	Inicio de Operación
60035	Pedro de Valdivia N° 2142	Providencia	1er Trimestre
60073	San Ramón N° 2701	Las Condes	
60255	Tobalaba N° 5439	Ñuñoa	

Estación de Servicio	Capacidad Estanque	Inicio de Operación
60035	30.000 Litros	1er Trimestre
60255	30.000 Litros	6to Semestre

**Fuente: Elaboración propia.**

El número de estaciones por habilitar corresponde el valor máximo permitido, tal como en casos anteriores. Sin embargo, las diferencias están en el número de estanques adicionales, que ha aumentado en una unidad, esto debido al crecimiento proyectado del consumo, iniciando las operaciones a mitad del segundo año.

El costo de la solución aumenta en MM\$10,8. A pesar de ello se conserva un ahorro de 65%, ya que los costos de continuar con el actual modelo también se han elevado, al recalcularse en función a la nueva demanda. El desglose por año se detalla a continuación:

**Cuadro 25 : Costos Anuales. Sensibilidad de Demanda**

<b>Costos [MM\$]</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Original</b>	71,7	99,4	128,6	159,6	459,2
<b>Solución</b>	52,8	26,5	35,4	45,7	160,4
<b>Diferencia</b>	18,9	72,9	93,2	113,9	298,8
				<b>AHORRO</b>	<b>65%</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

A pesar del incremento en un 7,2% del volumen demandado la distancia ha disminuido en un 1% adicional al caso base, promediando 4,85 kilómetros, sin apreciarse una correlación directa entre estas dos variables.

**Cuadro 26 : Distancia Promedio a Clientes. Sensibilidad de Demanda**

<b>Sector</b>	<b>Distancia Promedio Original [Kms]</b>	<b>Distancia Promedio Solución [Kms]</b>	<b>Variación %</b>
La Reina	21,75	3,40	-84%
Las Condes	24,13	2,78	-88%
Lo Barnechea	29,02	8,47	-71%
Ñuñoa	16,74	2,08	-88%
Providencia	17,35	2,13	-88%
Vitacura	22,71	6,45	-72%
<b>Promedio Ponderado</b>	<b>21,95</b>	<b>4,85</b>	<b>-77%</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

### 14.3. Límite de Centros de Despacho

Una variante relevante es no contar con un límite establecido de E/S como centros de despacho. Así es posible observar el número óptimo que minimice los costos. A continuación se detallan los resultados obtenidos al eliminar la restricción:

**Cuadro 27 : Solución Sensibilidad de Centros de Despacho**

Estación de Servicio	Dirección	Comuna	Inicio de Operación
60037	Vitacura N° 6380	Vitacura	1er Trimestre
60073	San Ramón N° 2701	Las Condes	
60370	Manuel Montt N° 1118	Providencia	
60712	La Dehesa N° 2016	Lo Barnechea	
60754	Apoquindo N° 6580	Las Condes	

**Fuente: Elaboración propia.**

A diferencia de las soluciones anteriores esta no requiere de la instalación de un estanque adicional, ya que privilegia la cercanía a los clientes, lo que tendrá mayor impacto sobre el ahorro en los costos finales que agregar mayor capacidad a la estación. Los centros aumentan de 3 a 5, distribuyéndose por las distintas comunas del sector nororiental.

El costo asociado a la puesta en marcha y operación bordea los MM\$123 de pesos, generando un ahorro de 71%. Los costos anuales son los siguientes:

**Cuadro 28 : Costos Anuales. Sensibilidad de Centros de Despacho**

Costos [MM\$]	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	TOTAL
Original	70,3	94,7	119,1	143,4	427,5
Solución	58,5	16,6	21,3	26,6	122,9
Diferencia	11,8	78,1	97,8	116,9	304,6
				<b>AHORRO</b>	<b>71%</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

El mayor beneficio que presenta la solución es la disminución en la distancia promedio entre clientes y centros, alcanzando un ahorro de 87% respecto a no realizar modificaciones al modelo actual y 11% mejor que la solución planteada por el caso base, el que disminuye en un 76% este factor.

**Cuadro 29 : Distancia Promedio a Clientes. Sensibilidad de Centros de Despacho**

Sector	Distancia Promedio Original [Kms]	Distancia Promedio Solución [Kms]	Variación %
La Reina	21,75	5,37	-75%
Las Condes	24,13	2,15	-91%
Lo Barnechea	29,02	3,38	-88%
Ñuñoa	16,74	2,91	-83%
Providencia	17,35	1,63	-91%
Vitacura	22,71	2,35	-90%
<b>Promedio</b>	<b>21,95</b>	<b>2,81</b>	<b>-87%</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 14.4. Costo Transporte

Otro punto de interesante de analizar es el efecto que tendría una eventual variación en los costos de transporte, en particular, cómo estos influirían en los costos totales y la solución final. Para este análisis se han planteado dos escenarios, en los que se ha modificado en 10% el costo actual. Los resultados pueden resumirse en la siguiente tabla:

**Cuadro 30 : Ahorro Solución. Sensibilidad de Costo Transporte**

Variación Costo	Estaciones de Servicio	Solución	Ahorro %
+10%	60035	164,5	65%
	60073		
	60255		
-10%	60037	137,7	70%
	60255		
	60370		

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que de existir variación alguna el efecto sobre el ahorro será mayor cuando haya una baja del costo, no así bajo el supuesto en que los costos aumentan, donde el ahorro variaría en igual proporción al caso base. (65% respecto a no implementar la solución)

## 15. Conclusiones

Es necesario recordar que la función objetivo busca minimizar los costos de transporte e inversión, en el cual se encuentra implícita la distancia y el costo de traslado, por ello que no necesariamente la mejor solución es la que minimiza solo la distancia promedio.

Todos los análisis realizados se han calculado con camiones de alto volumen, debido a que los mayores ahorros se generarán si se utilizan estos vehículos, de esta forma es posible estimar el ahorro potencial en el mejor de los escenarios.

Los principales resultados obtenidos para los distintos escenarios planteados anteriormente se pueden resumir en la siguiente tabla:

**Cuadro 31 : Resumen Solución Original y Sensibilidades**

Descripción	E/S	Estanques	Costo [MM\$]	Ahorro	Variación Distancia
Inicial	3	1	149,6	65%	-76%
Sensibilidad 1	3	1	122,1	71%	-85%
Sensibilidad 2	3	2	160,4	65%	-77%
Sensibilidad 3	5	0	122,9	71%	-87%
Sensibilidad 4	3	1	137,7	70%	-

**Fuente: Elaboración propia.**

Si bien, el menor costo es posible alcanzarlo al aumentar el número de localizaciones factibles, este escenario puede representar mayor complejidad respecto a la operación del negocio, por lo que es recomendable utilizar sólo el primer conjunto de estaciones, las que de igual forma disminuyen considerablemente el costo para la empresa. El mayor ahorro (6% adicionales) no justifica la inclusión de estaciones que no garanticen por completo la operatividad del modelo.

Aunque la primera y la tercera sensibilidad tienen costos totales similares estos difieren en la inversión y el transporte, donde el último caso posee un costo por transporte inferior que es compensado con un mayor gasto en la habilitación de estaciones. En este escenario no se requiere de la instalación de un estanque adicional, sin embargo resulta necesario abrir cinco centros de carguío, algo complejo operacionalmente si se considera que no se está cubriendo el volumen demandado por otras comunas de la ciudad, las que en conjunto representa el 62,4% del consumo total y que también requieren de centros de despacho. Además, va en contra de los intereses de la compañía, ya que un gran número complejizaría el control sobre la gestión de estas.

Otro de los objetivos planteados desde un comienzo ha sido el contribuir en mejorar la atención a clientes por medio de la reducción de los kilómetros que los separan de los centros de carguío, obteniendo un mejor tiempo de respuesta con ello. Todas las soluciones presentadas han logrado disminuir por sobre un 75% esta variable. A pesar que existen soluciones con un mejor desempeño, el ahorro es tal que 11 puntos porcentuales de diferencia entre las distintas soluciones deja de representar una gran diferencia, como para preferir otros resultados que no sean el inicial.

Tal como se ha expuesto anteriormente, aunque existen soluciones con un mejor rendimiento en las dos dimensiones analizadas (Costos y disminución de distancia) es importante verificar la factibilidad de implementarlas. Lo que lleva a considerar como la mejor opción elegir el escenario propuesto inicialmente, generando un ahorro considerable sin afectar los intereses de la compañía.

Finalmente, el margen operacional del negocio, que corresponde a ingresos menos costo combustible y flete, crecerá proporcionalmente al ahorro generado por el modelo, siendo un 165% de lo percibido sin implementar los cambios. Por lo tanto, el margen se incrementará en MM\$ 308,7 de pesos, alcanzando utilidades por MM\$ 671,5 en los cuatro años de operaciones.

## **16. Investigaciones Futuras**

El ahorro que puede significar llevar a cabo la implementación de la solución propuesta permitiría crear un modelo que involucre bonificaciones a transportistas, utilizando sólo una fracción de este, apuntando a mejorar la calidad del servicio y creando incentivos para aumentar la eficiencia en el uso de los equipos, al incrementar el número de clientes atendidos, comprendiendo que la cercanía a ellos los liberará de tiempo de traslado aprovechable en otras labores.

Determinar el número de vehículos por Estación de Servicio es otra tarea pendiente, el que puede ser calculado en base a las proyecciones ya elaboradas en este trabajo, estimando un valor óptimo que equilibre un número adecuado de clientes al día y tiempo mínimo por atención, respetando las horas de trabajo máxima según lo establecido por la ley. Esta solución debiera permitir determinar un modelo operacional que lleve a la práctica la formulación estratégica ya definida.

Finalmente, el ahorro generado puede traspasarse en parte al cliente, generando programas de fidelización, la captura de un mayor *market share* al poseer precios competitivos o la creación de más mercado por medio de valores atractivos.

## 17. Bibliografía Consultada

1. Brandeau, M., Chiu, S. 1989. "An Overview of Representative Problems in Location Research". The Institute of Management Science. Volume 35, 645-667.
2. Empresas Copec S.A., Memoria Corporativa. 2010. [En línea] <[http://www.ec.cl/\\_file/memoria2010/index.html](http://www.ec.cl/_file/memoria2010/index.html)> [Consulta: Abril 2011]
3. Espinoza, S. 2007. "Modelo de Optimización Aplicado al Programa de Producción para una Empresa de Alimentos". Memoria de Pregrado, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil Industrial.
4. Ferrer, J. 2005. "Bundling en Promociones para la Distribución de Combustibles". Capítulo 6. "La Industria de los Combustibles Líquidos: El Caso de Chile", Salvador Valdés y M. Soledad Arellano.
5. Gac, I. 2006. "Modelo de Optimización Lineal Determinístico para la Localización de Colegios". Tesis de Magíster, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil Industrial, Magíster en Gestión de Operaciones.
6. Hale, T., Momberg, C. 2003. "Location Science Research: A Review". Annals of Operations Research 123, 21-35.
7. Kreisberg, M. 1998. "Localización de Instalaciones para la C.C.U.". Memoria de Pregrado, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil Industrial.
8. Reville C., Laporte G. 1996. "The Plant Location Problem: New Models and Research Prospects ". Operations Research, Vol. 44, No. 6, pp. 864-874.
9. Rosenthal, R. 2010. "GAMS. A User's Guide". GAMS Development Corporation.
10. Secretaría de Planificación de Transportes, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. "Escenarios de Usos de Suelo para Santiago"[En línea] <[http://www.sectra.cl/Datos\\_e\\_Informacion\\_Espacial/gran\\_santiago/escenarios.html](http://www.sectra.cl/Datos_e_Informacion_Espacial/gran_santiago/escenarios.html)> [Consulta: Mayo 2011]

## 18. Anexos

### 18.1. Anexo N°1

Para estimar un valor promedio de tiempo, en cada uno de los tipos de traslado, se ha utilizado la siguiente herramienta estadística para calcular el número de casos que deben considerarse para lograr un valor confiable:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{Ne^2 + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde

n : Tamaño de la muestra representativa.

N : Número total de la muestra.

Z : Valor estandarizado de acuerdo al nivel de confianza esperado.

p : Probabilidad de la población que presenta las características.

q : Probabilidad de la población que no presenta las características.

e : Nivel de error asumido en el cálculo.

Aprovechando que cada uno de los vehículos posee GPS, se han utilizado datos almacenados en los sistemas de geo-referencia, que graban la posición de los últimos 3 meses de uso. Si el número actual de vehículos es 5, se están generando 25 viajes semanales y 300 en los 3 meses de análisis.

Los valores utilizados en cada parámetro se detallan a continuación, junto al valor de datos que hace la muestra sea representativa (n):

Parámetro	Valor
N	300
Z	1,65 ( 90% de confianza )
p y q	0,5 ( Dado que se desconoce la distribución a priori )
E	10%
N	56

Para los cálculos se han utilizado 60 días, seleccionando de manera aleatoria la fecha y el vehículo a cargo.

## 18.2. Anexo N°2

Detalle de la variación porcentual de los metros cuadrados dedicados a Comercio, Industria y Servicios, por comuna de la Región Metropolitana entre 2005 y 2010:

	Año			Año			Año		
	2005	2010	VARIACION %	2005	2010	VARIACION %	2005	2010	VARIACION %
COMUNA	COMERCIO	COMERCIO	VARIACION %	INDUSTRIA	INDUSTRIA	VARIACION %	SERVICIOS	SERVICIOS	VARIACION %
SANTIAGO	3.821.222	3.870.312	1,28%	1.557.577	1.583.908	1,69%	4.571.334	4.872.908	6,60%
COLINA	37.288	48.930	31,22%	118.487	129.463	9,26%	27.173	37.851	39,30%
CONCHALI	152.050	160.714	5,70%	198.055	209.138	5,60%	94.513	113.754	20,36%
HUECHURABA	167.981	178.909	6,51%	142.138	165.126	16,17%	226.866	300.380	32,40%
INDEPENDENCIA	290.561	295.165	1,58%	355.275	360.146	1,37%	244.918	259.006	5,75%
LAMPA	15.180	15.795	4,05%	179.723	219.933	22,37%	26.095	31.745	21,65%
QUILICURA	43.780	46.155	5,42%	1.111.700	1.217.141	9,48%	301.897	373.522	23,73%
RECOLETA	401.883	405.923	1,01%	508.565	521.332	2,51%	272.884	303.335	11,16%
RENCA	65.202	66.473	1,95%	383.599	391.637	2,10%	121.529	137.818	13,40%
CERRILLOS	157.932	176.975	12,06%	612.308	625.811	2,21%	129.657	144.335	11,32%
CERRO NAVIA	85.989	87.810	2,12%	59.177	60.960	3,01%	19.138	25.436	32,91%
ESTACION CENTR	255.739	385.421	50,71%	420.218	425.302	1,21%	224.722	265.057	17,95%
LO PRADO	65.788	67.315	2,32%	10.367	10.482	1,11%	41.477	50.600	21,99%
MAIFU	415.827	449.268	8,04%	767.439	797.495	3,92%	177.319	225.993	27,45%
PUDAHUEL	114.309	117.834	3,08%	250.907	483.430	92,67%	151.997	224.319	47,58%
QUINTA NORMAL	269.661	274.489	1,79%	556.771	567.530	1,93%	158.736	181.989	14,65%
LA REINA	177.407	214.369	20,83%	119.957	123.525	2,97%	52.527	147.584	180,97%
LAS CONDES	880.585	957.887	8,78%	24.524	24.626	0,42%	1.291.728	1.857.622	43,81%
LO BARNECHEA	157.227	173.852	10,57%	2.254	2.261	0,30%	12.829	14.750	14,97%
ÑUÑO A	441.484	451.077	2,17%	240.327	240.494	0,07%	370.465	401.044	8,25%
PROVIDENCIA	845.309	934.757	10,58%	95.604	95.824	0,23%	1.880.201	2.286.688	21,62%
VITACURA	290.158	297.547	2,55%	17.534	17.752	1,24%	265.920	312.321	17,45%
CALERA DE TAN	8.526	9.040	6,03%	2.388	2.614	9,48%	6.002	6.814	13,53%
EL BOSQUE	102.960	131.301	27,53%	74.974	77.613	3,52%	23.677	31.172	31,66%
LA CISTERNA	208.313	219.931	5,58%	212.519	213.815	0,61%	81.826	138.459	69,21%
LA GRANJA	81.345	83.952	3,20%	117.524	122.550	4,28%	36.977	42.881	15,97%
LA PINTANA	53.890	81.481	51,20%	51.068	74.930	46,73%	29.094	37.900	30,27%
LO ESPEJO	45.939	47.686	3,80%	39.008	40.736	4,43%	14.508	25.038	72,58%
PEDRO A GUIRRE	145.983	150.001	2,75%	84.567	86.188	1,92%	33.936	37.461	10,39%
SAN BERNARDO	227.340	311.383	36,97%	758.343	876.354	15,56%	215.291	251.092	16,63%
SAN JOAQUIN	111.116	113.272	1,94%	714.246	726.945	1,78%	145.608	159.043	9,23%
SAN MIGUEL	261.589	288.777	10,39%	528.680	533.641	0,94%	226.912	244.800	7,88%
SAN RAMON	83.755	86.199	2,92%	54.688	56.409	3,15%	51.597	63.091	22,28%
LA FLORIDA	633.999	668.647	5,47%	99.700	100.620	0,92%	112.404	135.355	20,42%
MACUL	117.820	121.297	2,95%	536.821	545.349	1,59%	155.202	171.737	10,65%
PEÑALOEN	144.005	166.526	15,64%	61.579	64.608	4,92%	65.072	80.913	24,34%
PIRQUE	10.810	11.245	4,02%	15.251	15.984	4,81%	5.495	5.772	5,04%
PUENTE ALTO	282.852	294.763	4,21%	222.128	231.252	4,11%	153.291	176.845	15,37%

Detalle de la variación porcentual de los metros cuadrados dedicados a Comercio, Industria y Servicios, por comuna de la Región Metropolitana proyectados al 2015.

COMUNA	Año			Año			Año		
	2010	2015		2010	2015		2010	2015	
	COMERCIO	COMERCIO		INDUSTRIA	INDUSTRIA		SERVICIOS	SERVICIOS	
SANTIAGO	3.870.312	3.925.430	1,42%	1.583.908	1.614.308	1,92%	4.872.908	5.177.048	6,24%
COLINA	48.930	63.976	30,75%	129.463	142.269	9,89%	37.851	70.801	87,05%
CONCHALI	160.714	166.653	3,70%	209.138	220.569	5,47%	113.754	151.835	33,48%
HUECHURABA	178.909	195.306	9,16%	165.126	181.186	9,73%	300.380	470.281	56,56%
INDEPENDENCIA	295.165	389.862	32,08%	360.146	380.816	5,74%	259.006	298.912	15,41%
LAMPA	15.795	16.715	5,82%	219.933	240.191	9,21%	31.745	41.406	30,43%
QUILICURA	46.155	49.654	7,58%	1.217.141	1.380.966	13,46%	373.522	500.078	33,88%
RECOLETA	405.923	412.222	1,55%	521.332	536.204	2,85%	303.335	350.424	15,52%
RENCA	66.473	68.457	2,98%	391.637	401.013	2,39%	137.818	167.114	21,26%
CERRILLOS	176.975	214.033	20,94%	625.811	641.505	2,51%	144.335	200.083	38,62%
CERRO NAVIA	87.810	90.630	3,21%	60.960	63.041	3,41%	25.436	31.419	23,52%
ESTACION CENTR	385.421	405.257	5,15%	425.302	431.127	1,37%	265.057	328.534	23,95%
LO PRADO	67.315	69.717	3,57%	10.482	10.614	1,27%	50.600	68.184	34,75%
MAIPU	449.268	538.205	19,80%	797.495	832.575	4,40%	225.993	298.578	32,12%
PUDAHUEL	117.834	123.168	4,53%	483.430	638.971	32,17%	224.319	306.819	36,78%
QUINTA NORMAL	274.489	282.178	2,80%	567.530	580.044	2,20%	181.989	225.538	23,93%
LA REINA	214.369	247.712	15,55%	123.525	127.617	3,31%	147.584	214.966	45,66%
LAS CONDES	957.887	1.060.968	10,76%	24.626	24.740	0,46%	1.857.622	2.089.512	12,48%
LO BARNECHEA	173.852	189.088	8,76%	2.261	2.268	0,33%	14.750	34.322	132,69%
ÑUÑO A	451.077	510.236	13,12%	240.494	240.685	0,08%	401.044	460.108	14,73%
PROVIDENCIA	934.757	979.042	4,74%	95.824	96.057	0,24%	2.286.688	2.742.626	19,94%
VITACURA	297.547	308.822	3,79%	17.752	18.002	1,41%	312.321	375.787	20,32%
CALERA DE TAN	9.040	9.809	8,51%	2.614	27.880	966,60%	6.814	8.357	22,65%
EL BOSQUE	131.301	148.855	13,37%	77.613	90.703	16,87%	31.172	41.070	31,75%
LA CISTERNA	219.931	226.985	3,21%	213.815	215.327	0,71%	138.459	175.597	26,82%
LA GRANJA	83.952	87.936	4,74%	122.550	128.425	4,79%	42.881	54.756	27,69%
LA PINTANA	81.481	87.771	7,72%	74.930	84.862	13,26%	37.900	63.907	68,62%
LO ESPEJO	47.686	52.956	11,05%	40.736	42.755	4,96%	25.038	48.538	93,86%
PEDRO A GUIRRE	150.001	156.660	4,44%	86.188	88.076	2,19%	37.461	57.617	53,81%
SAN BERNARDO	311.383	370.362	18,94%	876.354	951.247	8,55%	251.092	309.164	23,13%
SAN JOAQUIN	113.272	172.124	51,96%	726.945	741.688	2,03%	159.043	235.348	47,98%
SAN MIGUEL	288.777	319.377	10,60%	533.641	549.416	2,96%	244.800	292.452	19,47%
SAN RAMON	86.199	89.950	4,35%	56.409	68.425	21,30%	63.091	85.212	35,06%
LA FLORIDA	668.647	720.442	7,75%	100.620	101.690	1,06%	135.355	187.923	38,84%
MACUL	121.297	126.586	4,36%	545.349	555.260	1,82%	171.737	204.410	19,03%
PEÑALOLEN	166.526	180.024	8,11%	64.608	68.146	5,48%	80.913	113.308	40,04%
PIRQUE	11.245	11.892	5,76%	15.984	16.841	5,36%	5.772	6.331	9,69%
PUENTE ALTO	294.763	322.586	9,44%	231.252	241.915	4,61%	176.845	224.471	26,93%

### 18.3. Anexo N°3

A continuación se detallan los parámetros del modelo Holt-Winters Aditivo para cada una de las series de datos en análisis.

**Parámetros del modelo de suavizado exponencial HOLT- WINTERS**

Modelo			Estimación	t	Sig.
Centro-Modelo_1	Sin transformación	Alpha (Nivel)	1,193E-6	4,538E-5	1,000
		Gamma (Tendencia)	,013	1,091E-5	1,000
		Delta (Estación)	,001	,007	,994
Nororientado-Modelo_2	Sin transformación	Alpha (Nivel)	,233	3,616	,000
		Gamma (Tendencia)	1,326E-6	,000	1,000
		Delta (Estación)	,000	,001	,999
Norponiente-Modelo_3	Sin transformación	Alpha (Nivel)	,186	3,081	,003
		Gamma (Tendencia)	,002	,175	,862
		Delta (Estación)	,001	,007	,995
Norte-Modelo_4	Sin transformación	Alpha (Nivel)	,192	3,052	,003
		Gamma (Tendencia)	,002	,172	,864
		Delta (Estación)	,001	,006	,995

**Parámetros del modelo de suavizado exponencial HOLT- WINTERS**

Modelo			Estimación	t	Sig.
Sur-Modelo_1	Sin transformación	Alpha (Nivel)	,303	4,444	,000
		Gamma (Tendencia)	6,454E-7	2,043E-5	1,000
		Delta (Estación)	8,437E-5	,001	1,000
Surorientado-Modelo_2	Sin transformación	Alpha (Nivel)	,101	1,817	,072
		Gamma (Tendencia)	2,323E-5	,001	,999
		Delta (Estación)	,001	,007	,994
Total-Modelo_3	Sin transformación	Alpha (Nivel)	,201	3,180	,002
		Gamma (Tendencia)	2,736E-5	,001	,999
		Delta (Estación)	,001	,007	,995

**Parámetros del modelo de suavizado exponencial SIMPLE**

Modelo			Estimación	t	Sig.
Poniente-Modelo_1	Sin transformación	Alpha (Nivel)	,100	2,811	,006
		Delta (Estación)	2,952E-6	2,073E-5	1,000
Surponiente-Modelo_2	Sin transformación	Alpha (Nivel)	,300	4,395	,000
		Delta (Estación)	3,349E-6	2,280E-5	1,000

#### 18.4. Anexo N°4

A continuación se detalla la clasificación de la E/S en función de las características que presenta:

##### **Categoría Alta**

ID	DIRECCIÓN	COMUNA
60035	Pedro de Valdivia N° 2142/Muzzard	Providencia
60036	Av. Francisco Bilbao N° 5739	La Reina
60037	Vitacura N° 6380/Coronel Avendaño	Vitacura
60057	Av. Las Condes N° 12145	Las Condes
60073	San Ramón N° 2701	Las Condes
60075	Av. Irarrázaval N° 5277/Villagra	Ñuñoa
60109	Andrés Bello N° 2722/Vitacura	Las Condes
60132	Vicuña Mackenna N° 654/M. Concha	Ñuñoa
60133	Av. Colón N° 7400/Tomás Moro	Las Condes
60134	Pedro de Valdivia N° 4298	Ñuñoa
60255	Tobalaba N° 5439	Ñuñoa
60370	Manuel Montt N° 1118/A. Real	Providencia
60407	San Eugenio N° 1602/C. Dittborn	Ñuñoa
60419	Bilbao N° 2682/Hdo. de Aguirre	Providencia
60425	Camino El Alba N° 9610/El Algarrobo	Las Condes
60433	Isabel La Católica N° 4020	Las Condes
60640	Vicuña Mackenna N° 1990	Ñuñoa
60701	Apoquindo N° 7520/Chesterton	Las Condes
60712	La Dehesa N° 2016/El Rodeo	Lo Barnechea
60754	Apoquindo N° 6580/Gustavo V	Las Condes

##### **Categoría Baja**

ID	DIRECCION	COMUNA
60069	Av. Irarrázaval N° 1102/Julio Prado	Ñuñoa
60092	Eleodoro Yañez N° 1960	Providencia
60101	Salvador N°1368/Santa Isabel	Providencia
60108	Lota N° 2864/Tobalaba	Providencia
60135	Av. Ossa N° 591/Simón Bolívar	La Reina
60252	Apoquindo N° 7925/Torremolinos	Las Condes
60387	Av. Las Condes N° 8170/V. Huidobro	Las Condes
60392	Los Leones N° 2347/Tranquila	Providencia

## 18.5. Anexo N°5

- **Isla y Surtidores:** A modo de ejemplo la fotografía muestra el sector de venta de kerosene con dos surtidores, junto a la estructura de recubrimiento denominada *canopy*. Proyecto similar al de instalar una zona de carguío para camión estanque.



Fotografía: Copec - E/S Pajaritos N°5200, Maipú-Santiago.

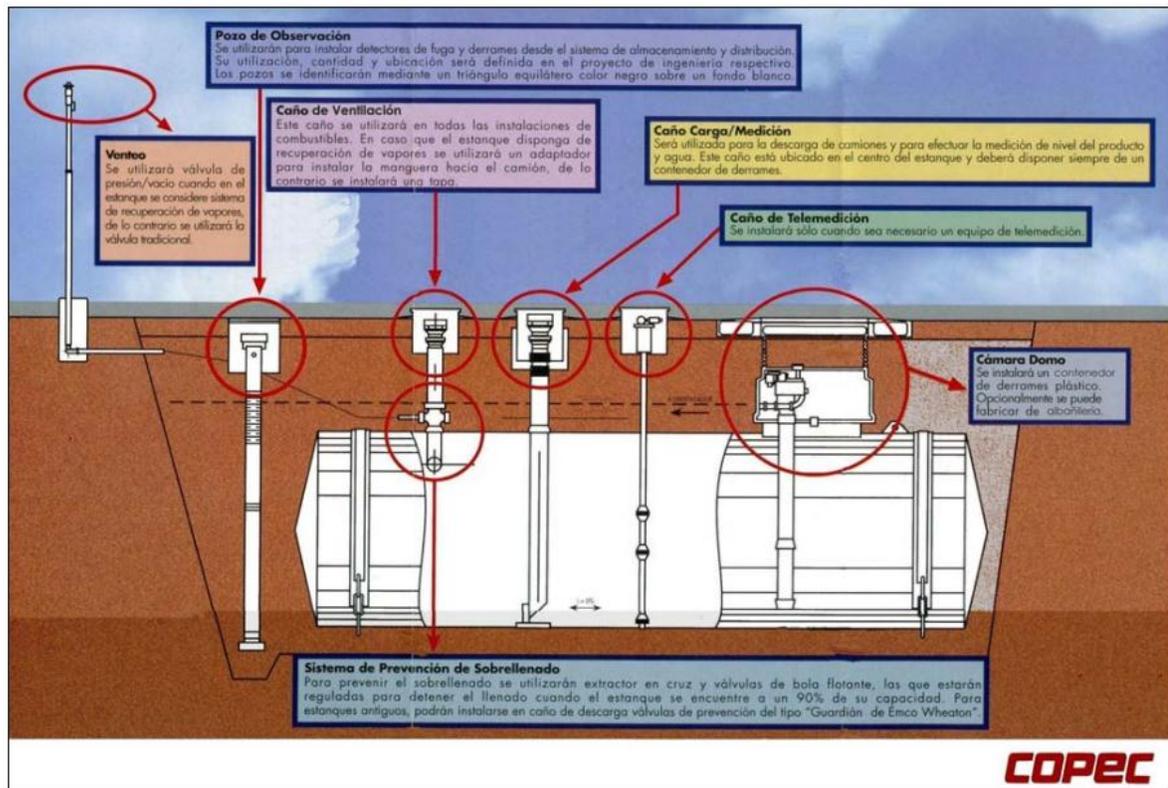
- **Dispensador para carga de camión estanque:** A diferencia de los de uso vehicular estos entregan un flujo superior que permite disminuir tiempos de carguío.



Fotografía: Copec - E/S Pedro Aguirre Cerda N°7240, Antofagasta.

## 18.6. Anexo N°6

A continuación se detallan los principales componentes de un estanque enterrado para el almacenaje de combustible:



Fuente: Copec S.A.

## 18.7. Anexo N°7

A continuación se detalla el código en lenguaje GAMS para el modelo de optimización propuesto:

```
option limrow=0, limcol=0, solprint=on;
option ResLim=36000;

* Sets "i" Estacion de Servicio, "j" Clientes y "t" Períodos
$include 0indice_set

* Demanda de Clientes: d(t,j)
$include 1demanda_cliente

* Límite de Suministro y Capacidad Adicional por E/S: a(i) y lim_es(i)
$include 2suministro_capacidad_estacion

* Matriz y Vector de Distancias: dist1(j,i) y dist2(i)
$include 3matriz_vector_distancias

* Definición Estanques y Costos: v, vol(v) y c_est(v)
$include 4estanques

* Costo de Transporte: c_trans1(j) y c_trans2(i)
$include 5costos_transporte

scalars
  c_mod "Costo Modificación E/S" /9241648/
  cte "Constante" /5000000/
  f "frecuencia llenado" /24/;

binary variable y(i,t) "E/S i Seleccionada como Centro de Carguio en periodo t";
binary variable abrir(i) "E/S i Seleccionada como Centro de Carguio";
binary variable w(i,v,t) "Agrego Estanque en i de Volumen v en periodo t";
binary variable r(i,v) "Agrego Estanque a E/S i de volumen v";

positive variable x(i,j,t) "Tamaño despacho desde E/S i a Cliente j en período t";

free variable costo_total "Costo Total por Minimizar";
free variable cst_abrir "Costo Abrir";
free variable cst_cliente(t) "Costo E/S-Cliente en período t";
free variable cst_estacion(t) "Costo Planta-E/S en período t";
free variable cst_est "Costo Estanque";

equations
  demanda_periodo(j,t)
  limite_volumen(i,t)
  entrega_maxima1(i,j,t)
  entrega_maxima2(i,j,t)
  limite_centros
  limite_centros_por_periodo(t)
  lim_estanque_adicional(i)
  lim_capacidad_adicional(i,t)
  logica_1(i,j,t)
  logica_2(i)
  logica_3(i,v)
  a1
  a2(t)
  a3(t)
```

```

a4
objetivo;

demanda_perodo(j,t)..
    sum(i, x(i,j,t)) =e= d(t,j);

limite_volumen(i,t)..
    sum(j, x(i,j,t)) =l= (a(i)+sum(v,vol(v)*w(i,v,t)))*f;

entrega_maxima1(i,j,t)..
    x(i,j,t) =l= (a(i)+sum(v,vol(v)*w(i,v,t)))*f;

entrega_maxima2(i,j,t)..
    x(i,j,t) =l= d(t,j);

limite_centros..
    sum(i,abrir(i)) =l= 3;

limite_centros_por_perodo(t)..
    sum(i,y(i,t)) =l= 3;

lim_estanque_adicional(i)..
    sum(v,r(i,v)) =l= 1;

lim_capacidad_adicional(i,t)..
    sum(v,vol(v)*w(i,v,t)) =l= lim_es(i);

logica_1(i,j,t)..
    x(i,j,t) =l= cte*y(i,t);

logica_2(i)..
    sum(t,y(i,t)) =l= cte*abrir(i);

logica_3(i,v)..
    sum(t,w(i,v,t)) =l= cte*r(i,v);

a1..
    cst_abrir =e= sum(i, c_mod*abrir(i));
a2(t)..
    cst_cliente(t) =e= sum((i,j), (c_trans1(j)*dist1(j,i))*x(i,j,t));
a3(t)..
    cst_estacion(t) =e= sum((i,j), (c_trans2(i)*dist2(i))*x(i,j,t));
a4..
    cst_est =e= sum((i,v), c_est(v)*r(i,v));

objetivo..
costo_total =e= sum(i, c_mod*abrir(i)) + sum((i,j,t), (c_trans1(j)*dist1(j,i)+c_trans2(i)*dist2(i))*x(i,j,t)) + sum((i,v), c_est(v)*r(i,v));

model memoria_ofreire/all/;

solve memoria_ofreire using mip minimizing costo_total;

display y.l;
display x.l;
display abrir.l;
display w.l;
display r.l;

```