

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA
PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA EN UNA EMPRESA
CONSTRUCTORA”**

CHIA – LUAN LEE

PROFESOR GUÍA: MARIO MORALES P.

PROFESORES DE COMISIÓN: HERNÁN CÁRDENAS H.

PROFESOR INTEGRANTE: RENÉ CALDENTEY.

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

SANTIAGO DE CHILE

2008

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: CHIA – LUAN LEE
FECHA: 01/10/2008
PROF. GUÍA: SR. MARIO MORALES

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA

El presente trabajo, se enfoca principalmente en entender y ayudar en la solución de los problemas y desafíos que enfrenta la Subgerencia Logística de una de las principales empresa constructora del país.

Actualmente, esta empresa constructora tiene un complejo sistema logístico de compra y distribución de materiales que consisten principalmente en tres etapas, es decir, solicitud de orden de compra, la bodega central y finalmente la distribución de la orden de compra desde la bodega central. En este momento, las transacciones de esta red logística son desordenadas, es decir, el flujo de la información de esta red no es transparente, tampoco existe conexión entre ellos, de este modo, dificulta al control y la gestión para esta empresa constructora.

En particular, este trabajo, se enfoca en la solución del problema de asignación y distribución de materiales, que consiste en la implementación de un sistema que ayuda en la planificación de éste. En la actualidad, este problema se resuelve manualmente tanto en la planificación táctica como estratégica, sin que exista ningún algoritmo logístico y tecnologías de información dando el apoyo, de lo cual se generan varios problemas como, pérdida del tiempo y error en la asignación. Por otra parte, la empresa constructora tampoco cuenta con algún sistema del seguimiento que le permita ejercer el control, monitoreo y gestión de las órdenes de compra y de los camiones, lo que genera una pérdida que se ha estimado en cien millones de pesos anuales.

La propuesta planteada para solucionar dichos problemas, consiste en el diseño de un sistema de planificación logística, utilizando el algoritmo “Clark – Wright“, que permite maximizar el ahorro de distancia recorrida de los camiones, restringir la capacidad de los camiones, prioridad de tiempo en la entrega de materiales, entre otros. Los beneficios de utilizar este método son, ahorro de combustible, optimizar el número de camiones, maximizar el espacio del camión contratado, evitar pagar la multa por la entrega atrasada, entre otros. Adicionalmente, la propuesta planteada permite gestionar el seguimiento y el control de las órdenes de compra por medio de una base de datos.

El logro de este trabajo fue implementar un sistema que permita a las empresas, optimizar el trabajo de asignación de los materiales y de esta manera reducir costos operacional, logrando obtener un ahorro económico significativo en las tareas tácticas y operacionales.

Cabe destacar que el motor de este sistema son las personas, quienes están involucradas en esta red, por lo tanto, la mejor manera para que este sistema funcione en forma óptima, es poder combinar adecuadamente las soluciones que se obtienen con modelamiento, con la generación de incentivos que permitan obtener el comportamiento deseado de las personas.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Justificación.....	7
1.2. Objetivos	12
1.3. Alcance.....	12
2. CADENA LOGÍSTICA DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA.....	13
2.1. Proveedor	15
2.2. Sistema de Distribución	16
2.2.1. Transporte.....	17
2.2.2. Centro de Distribución.....	18
2.3. Centro de Gestión u obra.....	19
3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA.....	21
3.1. Posibles dificultades en la implementación.	24
3.2. Síntesis de la situación actual.....	26
4. METODOLOGÍA DE LA PLANIFICACIÓN PROPUESTA.	28
4.1. Planteamiento matemático.	28
4.2. Elección del modelo logístico.	31
4.2.1. Modelo exacto evaluado para la solución.....	31
4.2.2. Modelos heurísticos evaluados para la solución.....	33
4.2.3. Conclusión de la elección.	44
5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA LOGÍSTICO.....	46
5.1. Diseño del sistema en general.	46
5.2. Diseño del algoritmo logístico.	48
5.3. Diseño del sistema base de datos.	56
5.3.1. Requerimientos del sistema base de datos.....	56
5.3.1.1. Manipulación de datos.	56
5.3.1.2. Volúmenes de informaciones.....	58
5.3.1.3. Velocidad de respuesta.	59
5.3.1.4. Diccionario de datos.	59
5.3.1.5. Reglas semánticas.	60
5.3.1.6. Restricciones.	60

5.3.2. Diagrama Entidad – Relación.....	61
6. CONCLUSIÓN.....	62
7. BIBLIOGRAFÍA.....	65
8. ANEXO.....	66
8.1. Calculo sobre la estimación del ahorro operacional.....	66
8.2. Diagrama del flujo IDEF0.....	70
8.3. Formato estándar de la planilla Excel	71

1. INTRODUCCIÓN.

“La feroz competencia en los mercados globales de hoy, la introducción de productos con menores ciclos de vida, y las elevadas expectativas de los clientes, han obligado a las empresas a invertir y enfocarse en sus cadenas de suministros. Esto, junto con el continuo desarrollo de adelantos en comunicaciones y tecnologías de transporte (por ejemplo, GPS) han motivado la constante evolución de las cadenas de suministro y las técnicas para su gestión.”¹

Los factores que inciden en su permanente transformación son los mismos que, a la larga, le sostienen. Uno de estos es la competencia que obliga a las empresas a buscar técnicas y estrategias de logística óptimas para poder mantenerse activas y lograr una buena rentabilidad, lo que se traducirá en la preferencia que tendrán los interesados accionistas y clientes, en general quienes demandarán sus productos y servicios. Pero la tarea no es sencilla; esta misma necesidad de ofrecer un bien de primera calidad impele al aumento de la inversión en investigación y desarrollo de modelos predictivos que estimen el resultado de sus eventuales decisiones.

Y aquí surge otro de los imperativos estratégicos al interior de la organización: el de la elección más adecuada. Por ejemplo, ante la aparición de nuevas alternativas de transporte, el incremento en la cantidad de productos, y la participación de un número creciente de actores en las cadenas de suministro, los responsables de la toma de decisiones deben procurar que la resolución sea rápida, efectiva y funcional.

La complejidad subyacente a este proceso hace que, en infinitas ocasiones, no sea suficiente la experiencia, intuición, o buen juicio para la toma de decisiones adecuadas, y se torne necesario el apoyo de sistemas analíticos.

La investigación de operación ha tenido un importante papel en el desarrollo de estos sistemas de apoyo a la gestión, permitiendo a los que toman las determinaciones adoptar la mejor resolución, gracias al apoyo de este tipo de herramientas analíticas, las cuales

¹ Texto extraído desde el libro “Designing and Managing the Supply Chain”.

confieren mayor seguridad a la organización que la simple experiencia, la intuición, u otros factores de azar.

Dentro de la investigación de operación es posible distinguir varias disciplinas, siendo la “Optimización o Programación Matemática” una de las herramientas más utilizadas en el ámbito de las aplicaciones militares, industriales y mineras, dado los eficientes resultados como en la reducción del tiempo y el dinero ahorrado que han presentados en las áreas anteriores. De hecho, debido a su amplio uso, la Optimización en la logística es una de las más estudiadas. Existen numerosos ejemplos reales a nivel de industrias, exitosos debido a la implementación de dicha herramienta.

Un caso interesante corresponde al de FedEx® , una empresa de distribución aérea de encomiendas a nivel internacional, la cual utiliza una red de distribución que opera con un modelo analítico para mejorar la distribución: el modelo del centro de tránsito, o puntos en donde se concentra el tráfico de los envíos. El empleo de estas centrales permite reorganizar, clasificar, consolidar y repartir la distribución de los encargos. Con este modelo, FedEx ha obtenido un ahorro de más de US\$100 millones anuales por concepto de la distribución.

De manera muy semejante que en los casos expuestos, la empresa constructora que se evaluó para esta investigación también cuenta con una compleja red de distribución la cual concentra las obras de la compañía, ubicadas en diferentes regiones a lo largo del país. Muchas de las decisiones que se toman al interior de esta red tienen consecuencias no triviales en el tiempo y el espacio. Una mala decisión, ya sea una deficiente asignación de camiones de carga a sus destinos, o el camino a recorrer por dichos camiones puede generar un alto costo de operación si no se utiliza una herramienta analítica adecuada y la transparencia de información que le permita a la empresa tomar una buena decisión, en el momento de la ejecución de la planificación. Pese a que este tipo de ineficiencia genera pérdidas, éstas no son catastróficas si la empresa maneja un modelo que permita detectar estos errores a tiempo.

Sin embargo, aunque se cuente con un sistema predictivo eficaz, este tampoco lo será en un cien por ciento. Es necesario recordar los múltiples factores que intervienen en la

economía de la empresa, puesto que la competencia en el rubro de construcción, dadas las actuales condiciones, hace que el margen de la ganancia sea cada vez más estrecho, y la exigencia de los clientes sea, a la vez, más demandante, por lo tanto, es vital reducir la tasa de posibles holguras que puede generar las ineficiencias operacionales de este.

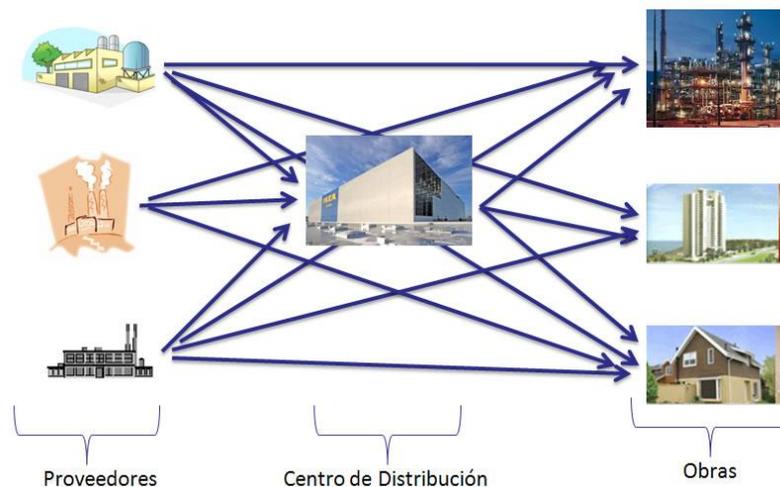
Es así como todos ganan: los clientes, que obtienen un producto o servicio satisfactorio, y las empresas que ven aumentadas sus ventajas competitivas en el mercado.

1.1. Justificación

La empresa constructora cuenta con una compleja red de suministro constituida por tres agentes principales, las cuales son: proveedor, centro de distribución y clientes u obras en construcción.

En este momento, las relaciones entre los tres agentes funcionan de una manera asincrónica, es decir, no existe un protocolo estándar que regule y garantice una comunicación entre los agentes en forma ordenada y centralizada. Por ejemplo: una obra puede comunicar directamente con un proveedor para solicitar su propio requerimiento sin pasar por un mecanismo intermedio, en este caso, se refiere al centro de compra y/o centro de distribución. Asimismo, una obra también puede solicitar su requerimiento al centro de compra sin recurrir al proveedor directamente. La situación actual se puede resumir en la Figura 1: Flujo de operación actual.

Figura 1: Flujo de operación actual



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Observando de lo anterior, se puede concluir que en la empresa constructora existen los siguientes problemas, a causa de lo anterior:

- I. Problema de coordinación: Dado que los tres agentes funcionan de una manera independiente en la actualidad, al momento de realizar un pedido de materiales para una obra, se genera una confusión respecto de “a quién se debe incurrir” para realizar alguna de las etapas de los procesos de compra – distribución de las compras determinada.
- II. Problema del control: Como no existe un organismo que centralice toda la compra, la distribución y el seguimiento de ellos, es difícil tener un control total de todas las compras realizadas en todas las obras a lo largo del país. Al no tener un control y seguimiento de las éstas, puede generarse una tremenda pérdida en sentido monetario para la empresa constructora, puesto que es importante conocer: qué compró, quién lo compró, cómo lo compró y la distribución de la compra y a quién se debe ocurrir para cobrar la pérdida de la compra (por ejemplo: robos), entre otros.
- III. Problema en aplicar la economía de escala: En base del punto i) Problema de coordinación y el punto ii) problema del control, se desprende que es difícil concentrar todas las compras y las distribuciones de en un sólo organismo que haga todas las gestiones de esta cadena de compra – distribución y el seguimiento de ellos. Por lo tanto, dado que no existe un organismo que haga los trabajos anteriores, es prácticamente imposible aplicar la economía de escala a los proveedores (de materiales y de servicios) en el momento de la negociación, para llegar un acuerdo de un buen precio, y la cantidad asegurada de productos y/o servicios para ambas empresas.

De lo anterior, se puede observar al nivel macro que, en esta empresa constructora tiene problema de centralización en el proceso de compra y distribución. Pero para este trabajo, no se efectúa estudio en los problemas anteriores presentados, puesto que este se deriva a otras aéreas correspondientes.

Dentro de los procesos anteriores mencionados y el problema de centralización que hay en esta empresa constructora, una de las situaciones más preocupantes para la Subgerencia de Logística de la empresa, dada la situación precedente, es que tampoco hay un mecanismo de gestión científica que permita optimizar la planificación de distribución de los materiales hacia las obras. Dado que en este momento, en el centro de distribución, se despachan diariamente cerca de 3.000 ítems diferentes de un total 20.000 existente en la lista del inventario, y que son enviados por medio de los diferentes tipos de tonelaje (10, 15 y 20 toneladas) del camión que dispone la empresa de transporte subcontratada la cual, diariamente, requiere de un promedio de 26 camiones, de distinta capacidad, para satisfacer todos los pedidos de las obras a lo largo del país. Por lo tanto, la optimización del uso de los camiones y la planificación de ruta de ellos se convierten un desafío fundamental para esta subgerencia, tanto en la maximización de la capacidad del camión, como la minimización de la distancia recorrido en la mayor cantidad de obras posibles.

Por otro lado, la aplicación del concepto de la economía de escala a la logística, es uno de los desafíos fundamentales para la empresa, porque al subcontratar camiones en forma aleatoria, por ejemplo subcontratar 100 camiones en un mes, 200 camiones en el otro mes, y 50 camiones en el mes siguiente (en las diferentes empresa de camiones, y a través de las diferentes unidades de negocios) el costo de subcontratar los camiones es relativamente caro. Esto, porque las empresas transportistas no pueden determinar la cantidad necesaria de camiones para cada unidad de negocios de esta empresa constructora. Por otro lado, las empresas transportistas también tienen que satisfacer las demandas de otras empresas que solicitan sus servicios, por lo tanto, las empresas transportista cobran un costo elevado, relativamente, en el concepto de costo de oportunidad por las demandas aleatorias.

Si se genera una centralización de esta cadena logística, la empresa podrá aplicar la economía de escala a las empresas transportistas, vale decir, asegurará una determinada demanda (número total de camión requerido) en los periodos establecidos, a un precio más conveniente del mercado, y, en consecuencia, se minimizará el costo de operación, reportando esto mayores utilidades netas a la empresa en el largo plazo.

Además, el hecho de contar con una mayor cantidad de información y transparencia de los datos concernientes a la operación de la cadena logística, apoyado con un buen sistema del control y gestión, se lograría cubrir un área no solucionada.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los problemas anteriormente mencionados, junto con una estimación económica de cada uno. (Ver Tabla 1: Estimación económica de los problemas principales).

Tabla 1: Estimación económica de los problemas principales

Ítem	Estimación Económica
Contratación de camión extra por mala planificación.	CLP\$75 MM. anual
Tiempo y Recurso personal que dedica en la planificación logística.	CLP\$12 MM anual.
Historial de las entregas.	CLP\$8 MM anual.
Estados de los camiones.	CLP\$15 MM anual.
Estado final de las entregas.	CLP\$22 MM anual.
Total	CLP\$132MM de perdida anual.

Fuente: Empresa constructora.

Es así como este nuevo sistema permitiría a la empresa tener un mayor control de los procesos que se suceden en la cadena, tales como el seguimiento de la carga y su llegada al destino solicitado.

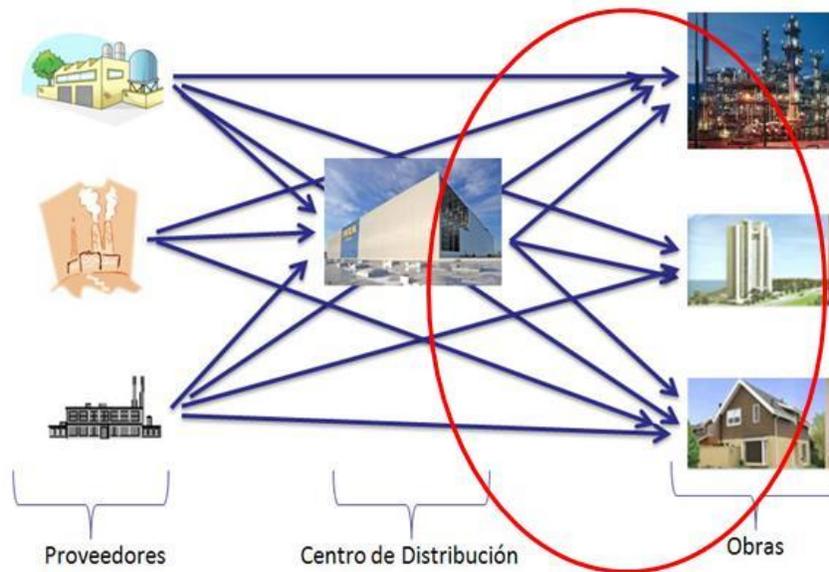
En resumen: Los principales problemas que ocurre dentro de la subgerencia logística que fueron principales causas de este trabajo fueron:

- I. No existe un sistema computacional que permita optimizar el proceso de la planificación logístico de los despachos diarios.
- II. No hay un método científico (o matemático) que respalda que las rutas planificadas fueron óptimas.

III. No existe un control y seguimiento de los despachos.

A través de la Figura 2: Problema principal del flujo operacional actual, el círculo rojo muestra los problemas mencionados anteriormente y es el tema de enfoque de este trabajo.

Figura 2: Problema principal del flujo operacional actual



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Por lo tanto, el principal desafío para esta memoria, básicamente, se concentra en el diseño de un algoritmo que permita optimizar la planificación logística de los materiales hacia las obras, maximizando el uso de la capacidad de los camiones, a su vez, minimizando el costo de la operación. Luego, usando este algoritmo, diseñar un protocolo computacional que permite satisfacer las necesidades anteriores.

1.2. Objetivos

Objetivo General

El objetivo general de este proyecto consiste en optimizar la planificación de la distribución de los materiales hacia las obras y la gestión sobre ellas, para ellos se diseña un sistema logístico con algún modelo existente que presta el apoyo para esté.

Así, se reduciría el costo de operación, mediante la gestión de información a través de este sistema, y se generarían ventajas competitivas con respecto a los otros agentes interventores del mercado.

Objetivos Específicos

- i) Establecer un modelo de optimización de la distribución con una adecuada relación entre el costo de transportes y el tiempo de la entrega.
- ii) Aumentar la eficiencia de trabajo, tanto en la disminución del tiempo en la distribución de los materiales en los camiones, como en la planificación de la asignación de las órdenes de compra, y mejora la capacidad de gestión de los responsables, utilizando las Tecnologías de la Información.
- iii) Diseñar un prototipo de este sistema logístico que permita hacer la planificación y gestión de los vehículos.

1.3. Alcance

El alcance de este proyecto consiste en el desarrollo de un sistema computacional (prototipo) que preste apoyo en la planificación logística, basada en un algoritmo logístico, especialmente en el área de la asignación y la distribución de los materiales. Con esto se pretende disminuir el tiempo de transportes, y maximizar la capacidad de los camiones para la entrega de los pedidos.

Por otro lado, el sistema también permitirá a la empresa realizar el control y gestión de estas entregas, a través, por ejemplo, del establecimiento de historiales de las planificaciones diarios para el control de la auditoria.

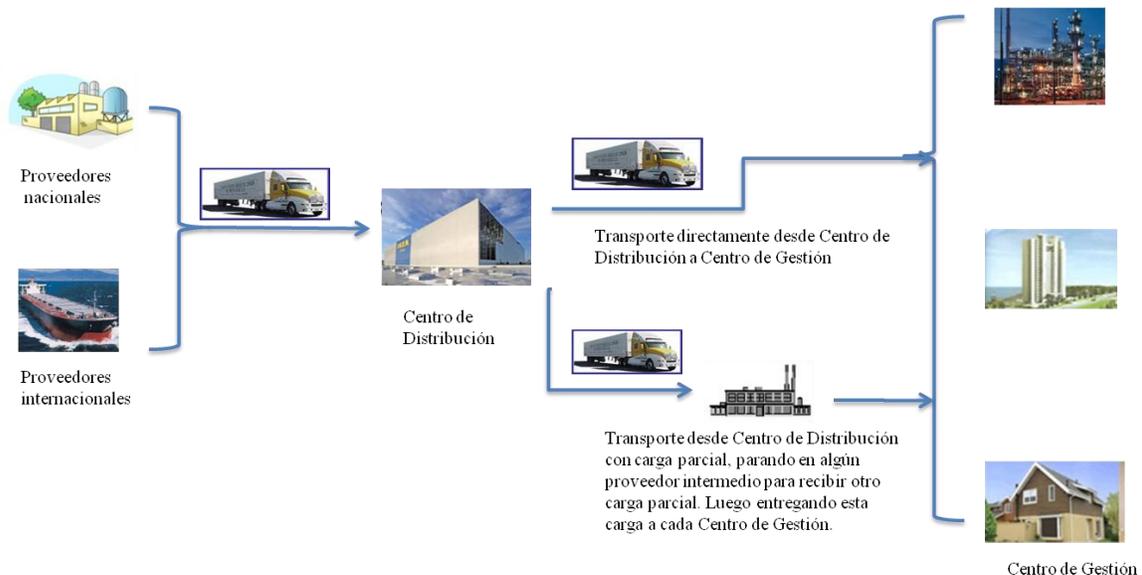
2. CADENA LOGÍSTICA DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA.

De acuerdo a la definición propuesta por Simchi-Levi en su libro “Designing and Managing the Supply Chain”: “*La Cadena o Red Logística, consiste en proveedores, centro industriales, bodegas, centros de distribución, minoristas, así como materiales primas, inventario de productos en proceso y productos terminados, que fluyen entre estos agentes*”.

La definición anterior presenta la Cadena de Suministro como un sistema, en el cual la interacción de los distintos agentes posibilita el flujo de productos desde los proveedores hasta los consumidores finales. Según Simchi-Levi, el concepto de Gestión de la Cadena Logística corresponde a un conjunto de enfoques utilizados para integrar eficientemente los distintos agentes, de modo que los productos sean elaborados y distribuidos a fin de satisfacer los distintos niveles de servicio, al mínimo costo global.

En este contexto, la red logística en la cual participa esta empresa constructora no sólo se compone de las instalaciones de la empresa o los flujos controlados por esta, sino que también comprende las instalaciones y flujos de sus proveedores y clientes. (Ver Figura 3: Cadena logística actual).

Figura 3: Cadena logística actual



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

De acuerdo con este concepto de cadena logística, cada uno de los agentes que participan en ella debiera estar alineado con el objetivo de minimizar los costos totales y el tiempo de la entrega del sistema, es decir: debería tener una solución óptima global que permita al sistema completo operar bajo la condición de minimizar los costos y tiempos de operaciones anteriores. Pero ¿realmente existe un óptimo global que sea más eficiente que la suma de todos los óptimos locales? En otras palabras: la suma de todos los costos optimizando localmente son más costosos que los costos optimizando globalmente

La respuesta de esta pregunta no es fácil, puesto que es necesario que todas las partes se pongan de acuerdo sobre ella, y sin el logro de un consenso claro respecto de los pasos asociados a una optimización global, difícilmente los agentes podrán alinearse bajo un mismo objetivo. Lo anterior es sumamente importante, y es probablemente una de las razones que más dificulta la posibilidad de minimizar los costos globales de la cadena logística.

Esta empresa constructora se encuentra en el mismo problema expuesto anteriormente, y claramente tiene mucho que mejorar en la integración de información en toda su cadena de suministro.

Como ya se ha mencionado, en base al concepto de Cadena logística que se utilizará en este trabajo, es posible describir la cadena logística de esta empresa constructora. Para ello es necesario detallar la participación de todos los agentes involucrados, desde la obtención de los materiales, hasta la entrega de los materiales a los clientes finales (que, en este caso, figuran como “Centro de Gestión” u “Obra en Faena”) de la constructora

Si bien es posible realizar, en la teoría, una breve descripción sobre ella, en la práctica no es factible, puesto que mucha de las informaciones de proveedores y obras en faena no están disponibles, por la confidencialidad inherente a ese tipo de datos de la propia empresa constructora.

Debido a esto, el presente trabajo sólo considerará una parte de la cadena logística, correspondiente a la asignación de materiales y planificación de rutas de los camiones hacia los centros de gestión.

2.1. Proveedor

Esta empresa constructora no cuenta con ninguna instalación propia para fabricar las materias primas para la construcción, dado que no es parte de su rubro.

Por lo tanto, todos los materiales son adquiridos a través de un tercero. Los principales proveedores de esta empresa constructora se clasifican según su origen en:

Proveedor nacional: Es aquel proveedor que tiene su planta instalada dentro del territorio chileno, donde produce los materiales de construcción en su planta. Posteriormente las vende a diferentes empresas constructora. Para este caso, en su mayoría, trabaja con los proveedores más prestigiosos del país, en lo que se refiere a cemento y hormigón de la empresa BíoBío, fierro o acero de CAP, maquinaria de construcción de CATERPILLAR, entre otros. De tal manera, el trabajar con los proveedores grandes le permite a esta empresa tener la confianza, la seguridad y el profesionalismo en la relación comercial a largo plazo. Además, estas empresas tienen sus plantas situadas en los puntos estratégicos de Chile, por ejemplo, Cemento BioBio tiene varia planta de mezcla de hormigón situado a lo largo del país, y esto le permite a esta empresa constructora optimizar su trabajo logístico a lo largo de todo país.

Proveedor internacional: se refiere a aquel proveedor que tiene su planta instalada fuera del territorio chileno. En este momento, el principal proveedor internacional de esta empresa constructora es China, siendo el 60% de los materiales importados son provenientes de China, complementado con las otras importaciones provenientes desde Argentina, Brasil y Estados Unidos. En cuanto a los materiales importados, los principales son:

Ferretería y Herramienta: Sierra Circular, taladro, lijadora, entre otros. Ferrería y herramientas generales de construcción:

a. Construcción: cerámica, madera, tablero, terminaciones, etc.

b. Gasfitería: Conduit, Tubo PVC, válvula, entre otros.

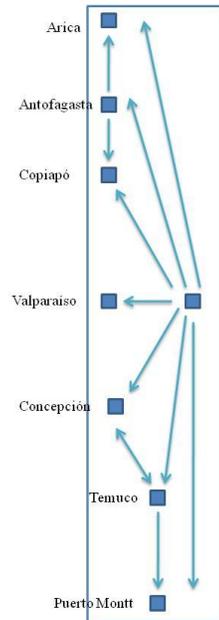
2.2. Sistema de Distribución

Para poder llevar los distintos materiales de construcción desde el centro de distribución hasta los diferentes Centros de Gestión u Obras en Faenas, esta empresa constructora cuenta con una extensa red de distribución y almacenamiento compuesta, entre otras, por un sistema de ruta de camiones, un centro de almacenamiento y distribución principal situado en el sector poniente de Santiago, dos centros de almacenamiento y distribución auxiliar, situados en la ciudad de Antofagasta, Concepción y Temuco.

En este trabajo sólo se concentrará el análisis en el centro de almacenamiento y distribución situada en Santiago, puesta sólo desde este se despachan más de 80% de las diferentes órdenes de despacho solicitadas por los Centros de Gestión a lo largo del país. (Ver Figura 4: Flujos de distribución de los materiales desde los centros de distribución.)

A continuación, se describen los principales elementos que constituyen el sistema de transporte y el sistema de almacenamiento.

Figura 4: Flujos de distribución de los materiales desde los centros de distribución.



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

2.2.1. Transporte

Dada la variedad de materiales de construcción que existen en el mercado y el constante cambio de los Centros de Gestión – un centro de gestión se inicia con la construcción de una obra, y finaliza una vez que termina la totalidad de ella -, el mejor medio de transporte son los camiones de carga de diferentes tonelajes, considerando la flexibilidad y el costo que presentan estos respecto de otros medios de transportes, como ferrocarriles o avión.

Todos los camiones que se utilizan en esta empresa constructora son subcontratados a través de una empresa de transportes, la que provee la totalidad de vehículos requeridos por la empresa constructora. Sin embargo, no proporciona servicio de logística, lo que debe ser subsanado por la propia constructora.

A continuación se describen los tipos de camiones más utilizados en las faenas de construcción y traslado de los materiales asociados. (Ver

Tabla 2: Camiones subcontratados).

Tabla 2: Camiones subcontratas

<u>Mercedes Benz Atego 1315</u>	
	<p>Tonelaje: 10 toneladas Largo carrozable: 6900 mm Autonomía: distancia medio (0-400 KMs)</p>
<u>Mercedes Benz Actros 2036</u>	
	<p>Tonelaje: 15 toneladas Largo carrozable: 15000 mm (plataforma) Autonomía: distancia largo(0-2000K Ms)</p>
<u>FreightlinerM2 112 6X4</u>	
	<p>Tonelaje: 20 toneladas Largo carrozable: 15000mm (plataforma). Autonomía: distancia largo (0 -2000 KMs)</p>

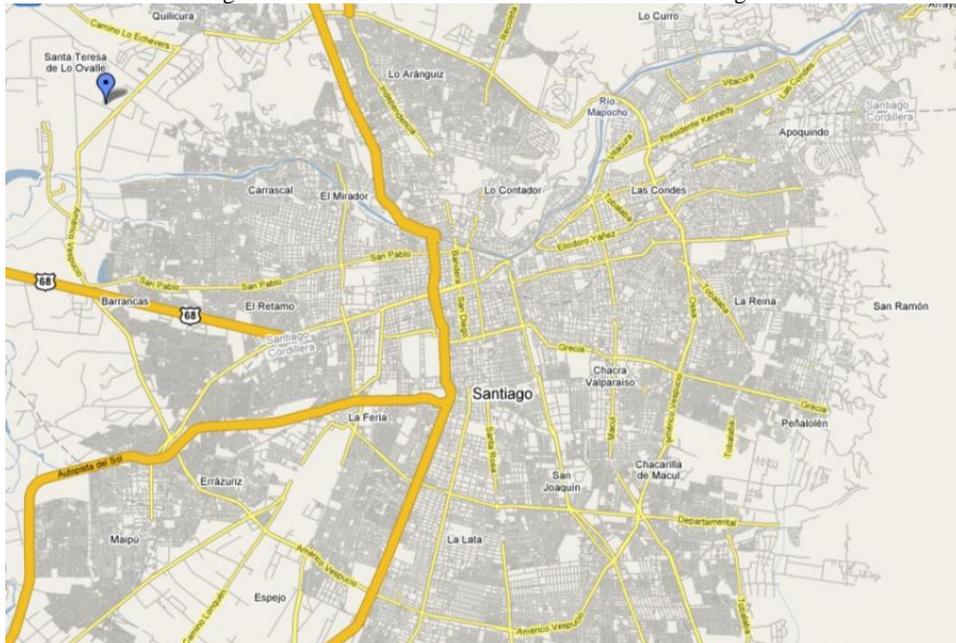
Fuente: Empresa de transportes subcontratadas.

2.2.2. Centro de Distribución

De acuerdo con lo anterior, el centro de distribución de Santiago representa más de un 80% de los principales despachos, por lo tanto, la ubicación de este centro debe ser estratégica en cuanto a su espacio y su accesibilidad. Por esta razón es que se ubica en el

sector industrial en la comuna de Pudahuel, en Santiago. Dicho lugar consiste en un recinto de cerca de 10 hectáreas – compartido entre bodegas, espacio para realizar operaciones, estacionamiento para los camiones y oficinas - , donde puede transitar cualquier tipo de camiones y se encuentra muy próxima a la autopista de Américo Vespucio Norte y Ruta 68, un lugar de fácil acceso que puede conectarse sin mayores problemas a todas las carreteras interurbanas del país. (Ver Figura 5: Localización del centro de distribución Santiago.)

Figura 5: Localización del centro de distribución Santiago.



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Los otros centros de distribución tales como Antofagasta, Concepción y Temuco, no tiene relevancia para efectos de esta investigación, puesto que no son el foco del presente trabajo.

2.3. Centro de Gestión u obra

El centro de gestión, u obra en ejecución, conforma al cliente final de esta cadena logística. Los centros de gestión están distribuidos en forma aleatorio desde Arica hasta Punta Arenas. Nacen con el inicio de cada obra, y cada uno de ello tiene un plazo definido para su ejecución. Una vez que se completa el tiempo de la ejecución de la obra, se cierra un centro de gestión en el sistema.

El centro de gestión se puede clasificar en tres categorías, y en cada una de ellas tienen requerimientos distintos. A continuación se presentan las tres categorías que posee esta empresa constructora:

- I. **Industrial:** corresponde a la construcción de instalación minería, generador termoeléctrico e hidroeléctrico, u otra grande construcción industrial. En este tipo de construcciones, las materias primas principales son: hormigón, acero, fierro, entre otras, de gran volumen. Se tienen que utilizar camiones de gran tonelaje para satisfacer los requerimientos anteriores, puesto que los materiales son productos de poco volumen, pero de gran peso, mayoritariamente.
- II. **Comercial:** corresponde a las construcciones de centros comerciales, hospitales, hoteles, entre otros. En esta categoría, las materiales primas son las mismas que en la categoría anterior, salvo que se necesitan muchos materiales más específicos como: cerámica, pintura, vidrio, entre otros. De esta manera, el número de camiones que transportan en esta categoría son variables, ya que hay materiales de poco volumen y de alto peso, y también hay materiales de alto volumen y de poco peso.
- III. **Inmobiliario o vivienda:** corresponde a la construcción de departamentos, casas o barrios, en general. En esta sección no se requerían materiales de gran volumen como en las dos categorías anteriores, o de características tan específicas; sólo se necesitaran materias primas como: fierro, hormigón, madera, pintura, entre otros para poder construir una vivienda. El transporte que se utiliza en esta categoría es el mismo que en las anteriores (comercial).

3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA.

La planificación logística actual de esta empresa constructora, de acuerdo al horizonte de tiempo considerado, se puede descomponer en una planificación táctica - horizonte mensual y anual - y la programación operacional – horizonte diario -.

La **planificación táctica** consiste en el establecimiento de las cantidades necesarias de los diferentes tonelajes de camiones, de acuerdo a las demandas mensuales de los últimos doce meses. Esto permite a la empresa constructora tener un respaldo para asegurar una demanda determinada frente a los proveedores de transportes en el momento de negociar los compromisos comerciales a un costo mínimo.

En la **programación operacional**, básicamente se preocupa de detallar cómo se transportan los diferentes artículos requeridos por los centros de gestión, y las rutas que deben seguir los camiones, de manera de cumplir los requerimientos – productos solicitados, tiempo de la entrega, estado físico de los productos, entre otros - establecidos por los centros de gestión.

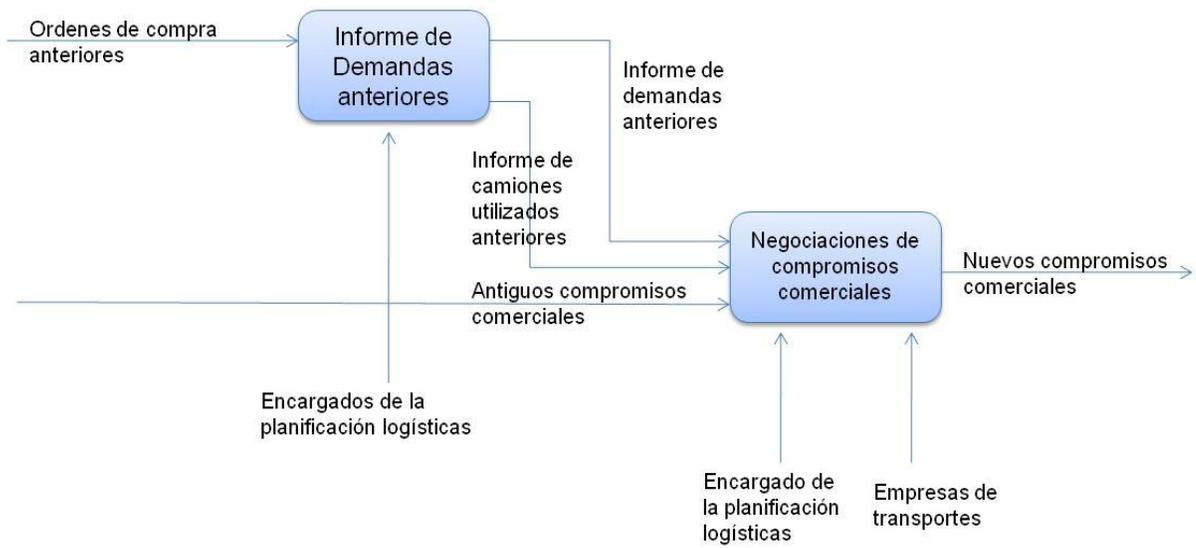
El problema que se presenta en la planificación táctica hoy en día es que la empresa constructora no cuenta con una base de datos que permita registrar en forma detallada todas las demandas que llegan diariamente, y tampoco puede generar los reportes asociados a las demandas como diarios, mensuales y anuales. Por lo tanto, para establecer las demandas anteriores, sólo se emplea la experiencia obtenida en el trabajo durante el año junto con las órdenes de compras acumuladas en el mismo periodo.

Es por ello que el resultado de la estimación de la demanda no cuenta con un respaldo sólido de informaciones que permita predecir lo que viene en el futuro.

A continuación, se presenta el flujo de la planificación táctica utilizando el método IDEF0². (Ver Figura 6: Diagrama del flujo de Planificación Táctica).

² Ver Anexo 8.2: Diagrama de flujo IDEF0.

Figura 6: Diagrama del flujo de Planificación Táctica

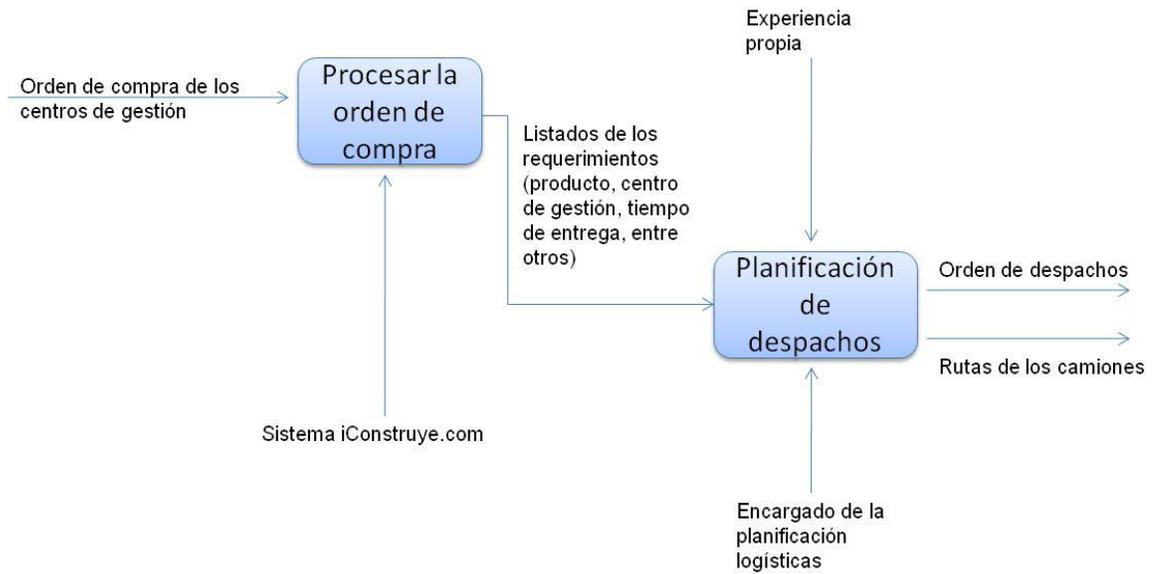


Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

La programación operacional tiene casi el mismo problema de la planificación táctica, es decir: para la programación diaria de los diferentes requerimientos y las rutas de los camiones, se recurre a la experiencia propia de los encargados del tema logística pero no existe un sistema computacional que facilita este tipo de trabajo mediante el empleo de un algoritmo logístico.

A continuación, se presenta el flujo de la programación operacional utilizando el mismo método anterior. (Ver Figura 7: Diagrama del flujo de Programación Operacional).

Figura 7: Diagrama del flujo de Programación Operacional



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

La gráfica permite observar que, actualmente, no existe ningún sistema computacional que permita a la empresa constructora optimizar la planificación de su trabajo diario, en más: dado que no existe una plataforma tecnológica para generar los reportes requeridos con informaciones veraces sobre los pedidos por otras subgerencias o superiores, se puede generar el problema de la transparencia, y a raíz de lo anterior, se pueden producir ciertas inconveniencias al nivel de la empresa. Por ejemplo, al no tener una mayor transparencia de la información se dificultará la auditoria interna de la empresa.

Si bien este proceso se realiza con fluidez gracias a la experiencia de las personas que participan en él, presenta algunas deficiencias que vale la pena resaltar.

En primer lugar, debido a la gran variedad de productos – los materiales de construcciones no tienen un patrón estándar, puesto que la gran mayoría son diseñado de acuerdo al requerimiento de cada centro de gestión – que transportan diariamente, la estimación de la cantidad y/o tonelaje de los camiones pueden ser ineficientes, y en ciertos casos para satisfacer las demandas extras, se tiene que contratar camiones extra incurriendo en un gasto extra.

Finalmente, y quizás lo más importante de todo es que, si bien las soluciones generadas con esta metodología no son óptimas, es posible incluso que la solución obtenida se encuentre bastante alejada de la solución óptima.

Durante los últimos años, la Subgerencia de Logística de esta empresa constructora ha hecho un esfuerzo por tratar de incorporar un algoritmo logístico que apoye, tanto la planificación en la asignación de los materiales, como las rutas de los camiones. Esto, considerando el crecimiento de las demandas en los últimos años en el sector de la construcción, con lo cual la necesidad de implementar un sistema más eficiente utilizando TI (Tecnología de Informaciones) que permite resolver el problema anterior, utilizando el menos recurso disponible, se tornó imperioso. Lo anterior, aun cuando resulta un cambio importante en el enfoque de planificación, es simplemente un inicio en el camino de mejoramiento de la gestión operacional.

3.1. Posibles dificultades en la implementación.

Debido a la extensión de la cadena de desarrollo de esta empresa constructora, y a la gran variedad de productos que trabaja, la planificación logística de esta empresa presenta una serie de dificultades que se señalan la continuación:

- **Aspecto dinámico:**

Como se había mencionado anteriormente, uno de los aspectos más preocupantes respecto de la asignación de los materiales es el tamaño y el peso que presenta cada producto. Por ejemplo, un conduit o tubo de acero (Ver Figura 8: Conduit) que tiene un peso aproximadamente una tonelada, pero su dimensión sólo alcanza un largo de veinte metros y quince centímetros del diámetro. Por lo tanto, en un camión de veintenas toneladas sólo se pueden transportar veintenas conduit por causa del peso, pero los veintenas conduit sólo ocupan el 20% de la dimensión permitida por el camión de ese tonelaje. Lo mismo para algún producto como una oficina temporal o container, que ocupa gran volumen, pero que tiene un peso muchísimo menor que otros materiales, por ejemplo, una generadora eléctrica.

Figura 8: Conduit



Fuente: Proveedor

▪ **Incertidumbre:**

Dentro de la cadena logística de esta empresa tanto los proveedores de productos y de servicios, como clientes, están sometidas a varias fuentes de incertidumbre, las cuales dificultan considerablemente la planificación óptima de esta cadena. Algunos de ellos son:

- i) **Demanda:** La demanda futura está directamente relacionada con el crecimiento de la economía y en el área de la construcción. Es interesante mencionar que, si hay una buena economía tanto a nivel local como mundial, se estimulará directamente el crecimiento de la industria y también se verá favorecida la compra de las inmobiliarias, y viceversa.
- ii) **Disponibilidad de los camiones:** Dado que esta empresa constructora no cuenta con sus propios camiones tiene que recurrir a la subcontratación de las empresas que proveen este servicio. Pero e puede suceder que alguna de las empresas subcontratadas tenga una sobredemanda respecto de su capacidad de solvencia. Frente a esta situación, la empresa constructora podría quedar totalmente desprotegida si no hubiera un camión disponible para sus requerimientos.

iii) Incertidumbre en los proveedores: Existen ciertos proveedores que no tienen sus productos almacenados en la bodega central de esta empresa constructora, por lo tanto, en el proceso del despacho se debe considerar que tienen que pasar a buscar el producto requerido por el centro de gestión. El problema que se presenta es que, dado que el producto está en la bodega del proveedor, es difícil conocer la disponibilidad del producto en tiempo real, y esto perjudica a la empresa al tener que “jugar” con la cantidad disponible del producto de forma aleatoria.

iv) Incertidumbre en los centros de gestión: El único problema que puede ocurrir en los centros de gestión es el cambio de la hora de la entrega de los materiales solicitados. Generalmente, de acuerdo al avance de cada una, la obra programa la entrega de los materiales en un tiempo determinado, para no generar el gasto de operación extra en el almacenamiento de los materiales, pero en ciertos casos, por algún problema externo, se retrasa el avance de la obra. Esto implica un cambio en la hora de entrega de los materiales que, a veces, no alcanza a ser informado al centro de distribución y el camión ya se ha puesto en camino, junto con las cargas de los otros centros de gestión.

3.2. Síntesis de la situación actual

De acuerdo a las distintas observaciones anteriores con respecto a la situación actual del proceso sobre la planificación y distribución de los materiales a las obras, hay que destacar que todos los trabajos que se realizan en los procesos actuales (en más de 90% de trabajos), no utilizan un apoyo científico que respalden las acciones que se efectúan para todos los trabajos, sino la gran mayoría de ellos se presenta el conocimiento previo adquirido a través de la experiencia. Esto se traduce en que la planificación difícilmente tiene resultados óptimos, y a su vez, el tiempo que requiere para esta, es sumamente largo. Por ejemplo, diariamente para hacer una planificación para 30 obras, se necesita cerca de 3 horas en su desarrollo.

Por otro lado, se puede observar, que durante la planificación se origina mucha incertidumbre en los trabajadores, situación que puede afectar la optimización de este. Existe un alto porcentaje (65%) de inquietud en la disponibilidad de camiones y proveedores que no siempre juegan a favor de la empresa constructora. , por esta razón es necesario tener un mayor control sobre estos, para ofrecer una mejor repuesta frente a los clientes y obras en faenas.

Por lo tanto, se puede concluir que actualmente la planificación de la subgerencia de logística de esta empresa constructora, requiere diseñar e implementar un sistema de tecnología de información para optimizar los resultados y reemplazar el trabajo manual, y de esta manera simplificar la tarea diaria para el desarrollo de la planificación.

4. METODOLOGÍA DE LA PLANIFICACIÓN PROPUESTA.

Debido a la complejidad del problema de la planificación logística en cuestión, resulta prácticamente imposible encontrar solución cercana al modo óptimo manual, utilizando simple cálculo y/o experiencia. Por esta razón, se propone la solución a través de un modelo logístico existente en el mercado. A continuación, se presenta un modelo planteado para la solución de este modelo logístico.

4.1. Planteamiento matemático.

Para resolver un problema de Ingeniería, no basta utilizar sólo un modelo logístico que ha sido comprobado gracias a su efectividad o por los usuarios, puesto que es necesario volver a encontrar el origen de los modelos existentes, es decir, un modelo matemático que establezca el base de los desarrollos de los modelos logísticos que permiten la optimización de uso de los recursos existentes.

Para efectos de este trabajo, se propondrá un modelo matemático que busca el máximo ahorro de distancias recorridas de los camiones, de las cuales, la distancia recorrida es proporcional con el costo de transporte, donde este último tiene cerca de 70% de gasto en el concepto de gasto de operaciones.

Función Objetivo:

$$\text{MAX} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{ij} \cdot C_{ijk} \sum_{k=1}^K X_{ijk}$$

Maximizar el ahorro de la distancia recorrida entre las ciudades.

Donde:

D_{ij} : Distancia ahorrado en recorrer obra i y j .

C_{ijk} : Costo en recorrer obra i, j en camión k .

X_{ijk} : Binario $\{0,1\}$. Utilizar el camión k para recorrer obra i, j .

S.A.

$$\sum_{i \in V} y_{ik} = 1 \quad \forall i \in V$$

Todas las obras tienen que ser atendidas por algún camión K .

Y_{ik} =atender obra i por el camión k .

$$\sum_{i \in V} y_{0k} = K$$

Todos los camiones son enviados desde el centro de distribución.

$$\sum_{i \in V} \text{CAP}_{y_{ik}} \leq \text{CAP}_k \quad \forall k = 1 \dots k$$

La suma de las demandas de las no puede sobrepasar a la capacidad del camión k .

$$\sum_{j \in V} X_{ijk} = \sum_{j \in V} X_{jik} = y_{ik} \quad \forall i \in V, k = 1 \dots k$$

El camión tiene que partir desde la última obra donde llegó.

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \notin S} X_{ijk} \geq y_{hk} \quad \forall S \subseteq V \cdot \{0\}, h \in S, k = 1 \dots k$$

Condición Tucker. Evitar la aparición de sub-ruta.

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, k = 1 \dots k$$

Variables binarias para tomar decisiones.

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, k = 1 \dots k$$

Como se puede observar, el modelo matemático es lo suficientemente simple como para ser modelado por algún programa existente, pero en la práctica, no resulta tan fácil como uno se ve en el modelo. A la sazón, existe mucha incertidumbre que puede desviar el óptimo alcanzado.

Por el otro lado, el desarrollo de un modelo matemático resulta muy costoso para esta empresa constructora, por las siguientes razones:

- i) Dadas las cantidades de obras presentes, de carácter geográfico temporal (las obras terminan y desaparecen) y muchas incertidumbres en las demandas, resultar ser muy costoso, a la larga, el estar constantemente modificando el modelo matemático, para que este siempre entregue un resultado óptimo.
- ii) Al emplear un modelo matemático, se necesitan personas que están capacitados para manejarlo, pero la mayoría de los empleados que trabajan en la logística, no cuentan con conocimientos suficientes para ejecutar esta herramienta. Por lo tanto, la implementación de un modelo matemático debe considerar el que pueda resultar más costoso capacitar a los usuarios, que la implementación misma de éste.

De acuerdo a los problemas anteriores, se decide a implementar un sistema simple, con una interfaz amigable para facilitar el uso de los usuarios, para la implementación de este, se evalúa los siguientes modelos logísticos para implementar en este sistema.

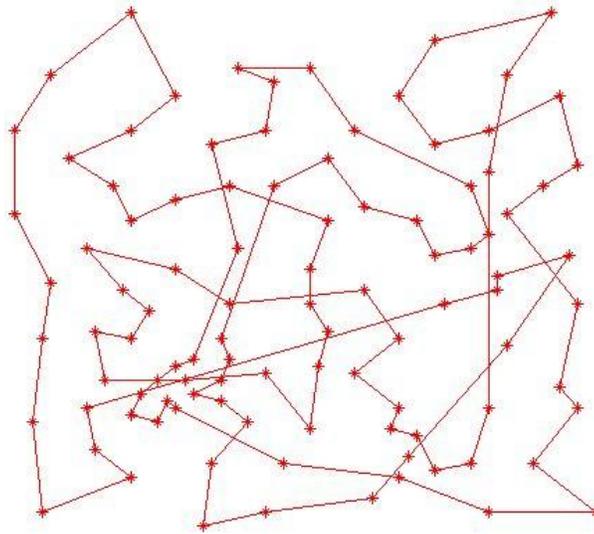
En la misma línea, se expone un modelo planteado para la solución de este modelo logístico.

4.2. Elección del modelo logístico.

4.2.1. Modelo exacto evaluado para la solución.

En el mercado, existe un numeroso modelo logístico que permita resolver el problema de ruteo que se presenta en esta empresa constructora, más conocido como el problema del vendedor viajero. (Ver Figura 9: Asignación de ruta del problema de vendedor viajero).

Figura 9: Asignación de ruta del problema de vendedor viajero



Fuente: MathLab.

El gran problema que muestra es resolver el problema del vendedor viajero utilizando el modelo exacto para encontrar la solución óptima es, el número total de combinación y el tiempo que se demora en dar una respuesta óptima es sumamente grande.

Por ejemplo, el modelo matemático de este para solucionar el problema del vendedor viajero son los siguientes:

Función Objetivo:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij}$$

Hay que visitar a todas las ciudades

S.A.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1 \dots n$$

El vendedor debe entrar exactamente una sola vez a cada ciudad.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1 \dots n$$

El vendedor debe salir exactamente una sola vez a cada ciudad.

$$\sum_{(i,j)/i \in U, j \in V} x_{ij} \leq |U| - 1 \quad \forall U \in V \quad 2 \leq |U| \leq n - 2$$

Condición Tucker, Evitar la aparición de sub-ruta.

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

Variable de decisión.

Viendo el modelo matemático anterior, es posible de observar que el modelo recorrer a todas las combinaciones posibles en término de buscar una ruta optima.

En la práctica, se supone que hay un vendedor que necesita visitar a sus 30 clientes que están situación en las 30 ciudades diferentes, entonces a la primera vista, ya existen $\frac{30!}{2}$ rutas posibles. Suponiendo un cálculo de 100 operaciones binarias, para determinar el costo de una nueva ruta a través de un computador de 500Mhz, se tiene:

$$\frac{30! \times 100}{2 \times 5.000.000.000} = 2,652 \times 10^{25} \text{ segundos} = 8.52 \times 10^{15} \text{ siglos}$$

Con lo anterior, es imposible aplicar este modelo en la vida real para encontrar una solución exacta. Por lo tanto, los métodos exactos quedan descartados, y utilizarán modelos heurísticas que básicamente basan en 2 criterios fundamentales:

- Soluciones de mínimo costo.
- Soluciones rápidas.

4.2.2. Modelos heurísticos evaluados para la solución.

Actualmente, los modelos heurísticos son la herramienta más manejada en la implementación de algoritmos orientados a la resolución de este tipo de problemas, dadas las circunstancias expuestas con antelación. Por ello, a pesar que las soluciones que entregan este modelo no son tan buenas, comparadas con las que entregan los otros modelos exactos para el problema de vendedor viajero, sigue siendo más eficiente para el caso de esta empresa, en particular.

Se presentan los dos siguientes modelos heurísticos que fueron evaluados para elegir el más adecuado para la cadena logística para esta empresa constructora.

- **Inserción del vecino más cercano³.**

Este algoritmo heurístico pueda comenzar en cualquier punto o nodo como el inicio de la ruta o trayecto, una vez comienza el algoritmo, se busca el punto más cercano al último ingresado a la ruta y agregando a ésta, de esta manera, se repite hasta que haya recorrido todos los nodos.

El algoritmo de este modelo son los siguientes:

Iniciación:

Seleccionar a un vértice j a azar.

Hacer $t=j$ y $W=V \setminus \{j\}$

Mientras $\{W \neq \emptyset\}$

Tomar j de $W / C_{ij} = \min \{C_{ti} / i \text{ en } W\}$

Conectar t a j

Hacer $W=W \setminus \{j\}$ y $t=j$.

Una de las ventajas que se presentan al utilizar este algoritmo es el tiempo en dar la respuesta que requiere un $O(n^2)$ $O(n^2)$ en resolver el problema del

³ Algoritmo creado por: Rosenkrantz, Stearns y Lewis (1977)

vendedor viajero. Pero también presenta una desventaja, y esta es que casi siempre incluye el arco o el camino más caro, es decir, puede existir un camino que es más próximo al punto actual, pero resulta que ese camino tiene un valor extra a utilizar en él, por ejemplo: la autopista con peaje.

A continuación, se presenta un ejemplo para mostrar el funcionamiento de este algoritmo. Para esto, considere que hay un problema de vendedor viajero que tiene que recorrer las 10 ciudades, sin repetirse ninguna. Se adjunta la matriz de distancia que se señala en la Tabla 3: Matriz de distancias.

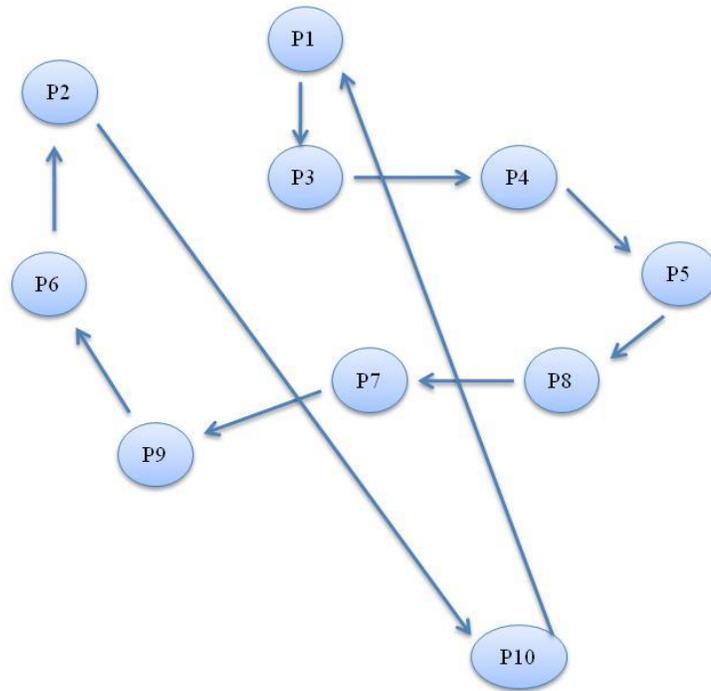
Tabla 3: Matriz de distancias

Ciudad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	8	5	9	12	14	12	16	17	22
2		-	9	15	17	8	11	18	14	22
3			-	7	9	11	7	12	12	17
4				-	3	17	10	7	15	18
5					-	8	10	6	15	15
6						-	9	14	8	16
7							-	8	6	11
8								-	11	11
9									-	10
10										-

Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Al correr el algoritmo de la inserción más cercano, se obtiene el siguiente resultado. (Ver Figura 10: Resultado de Inserción más cercano):

Figura 10: Resultado de Inserción más cercano



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Existen otros modelos que tienen un algoritmo similar a este para solucionar el problema del vendedor viajero, entre ellos se destacan: GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure), inserción más lejana, inserción más barata e inserción aleatoria, entre otros.

- **The Clarke and Wright algorithm**

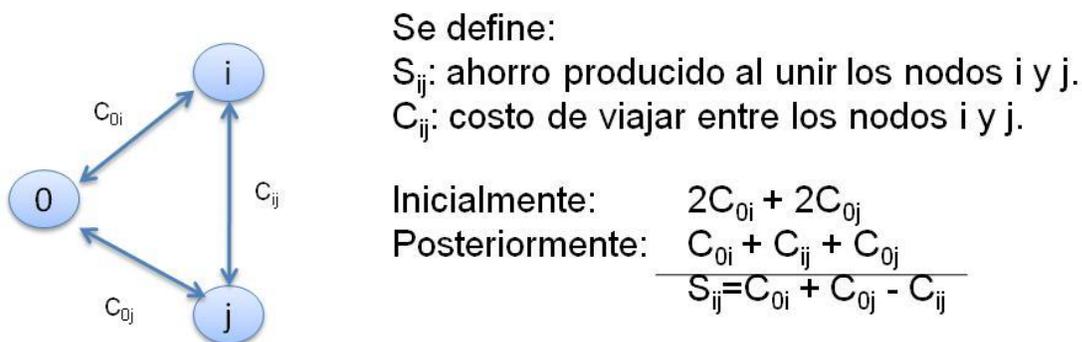
G. Clarke y J.M. Wright en “Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points”, discuten una técnica para encontrar buenas rutas. Este algoritmo conocido como de Clark – Wright entrega soluciones aceptables; y es muy utilizado en aplicaciones prácticas, por el tiempo escaso y la facilidad con que se aplica.

El algoritmo de este modelo consiste en la unión de dos rutas. Cuando dos rutas $[0, \dots, i, 0]$ y $[0, \dots, j, 0]$ se puede unir en una sola ruta $[0, \dots, i, j, \dots, 0]$ se calcula el ahorro en distancias después de realizar la unión. El ahorro en

distancias se calcula de la siguiente manera: $S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$ (Ver Figura 11: Calculo de ahorro en distancias - Algoritmo Clark and Wright).

Si el ahorro es favorable, se mantiene la ruta unida generado a su vez una subruta más larga, en el caso contrario, termina la asignación de dicha ruta. Sobre este mismo mecanismo se itera a continuación, realizando uniones en todos los puntos posibles.

Figura 11: Calculo de ahorro en distancias - Algoritmo Clark and Wright

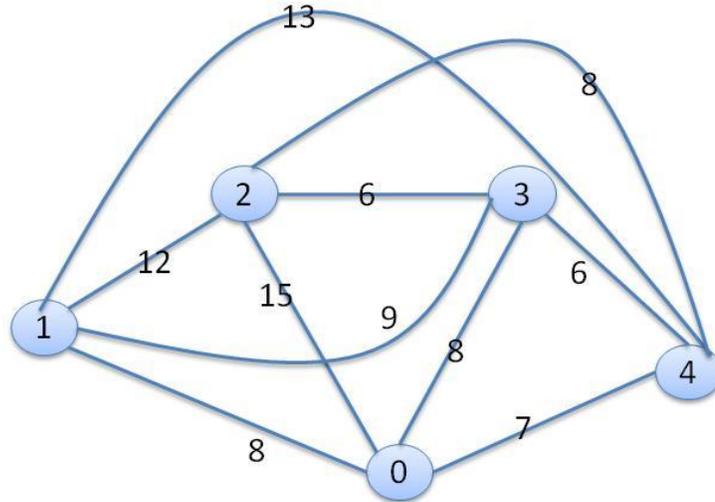


Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Una de las ventajas comparativas con respecto a los modelos logísticos anteriormente mencionados, es que el utilizar este modelo sólo requiere un $O(n^2 \log n)$, un tiempo bastante inferior que los otros.

A continuación, se presenta un ejemplo para ilustrar el funcionamiento de este algoritmo, para esto, se considera un punto 0 (centro de distribución) que tiene que enviar carga a sus 4 obras con sus respectivas distancias. Ver Figura 12: Red de Distribución.

Figura 12: Red de Distribución



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Algoritmo Clark –Wright:

- I. Construye una matriz de distancia más corta, entre cada par de sitios, incluyendo el punto de inicio. Ver Tabla 4: Tabla de distancias.

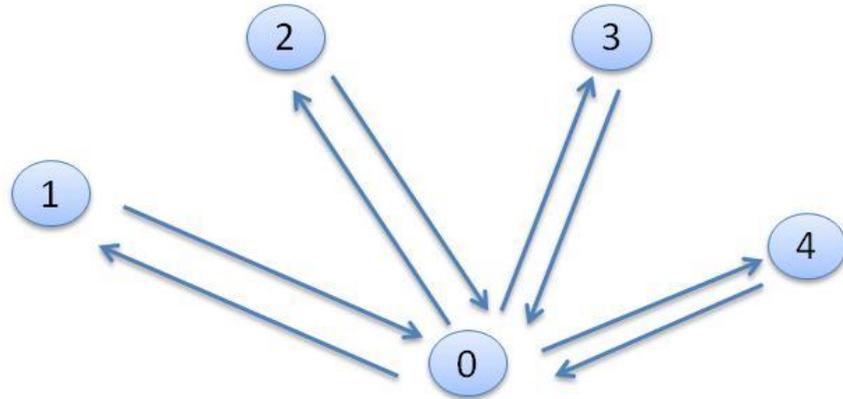
Tabla 4: Tabla de distancias

	1	2	3	4
0	8	15	8	7
1	-	12	9	13
2	-	-	6	8
3	-	-	-	6
4	-	-	-	-

Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

II. Desarrollar una asignación inicial de un viaje para cada destino. (Ver Figura 13: Solución inicial).

Figura 13: Solución inicial



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Calcular la ganancia neta para cada par de localizaciones. El ahorro neto es calculado como S_{ij} . Así que para enlace 1 y 2:

$$S_{12} = C_{01} + C_{02} - C_{12} = 8 + 15 - 12 = 11$$

Además, con el mismo algoritmo anterior, se obtiene una matriz de ahorro que se presenta a continuación (Ver Tabla 5: Matriz de ahorro):

Tabla 5: Matriz de ahorro

	2	3	4
1	11	7	2
2	-	17	14
3	-	-	9
4	-	-	-

Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

III. Asignar un indicador especial (para facilitar la operación interna) llamado T, en una celda apropiada de la matriz de ahorro.

El calculo de ahorro neto, para cada par de enlaces, está basado en un costo relativo de los vehículos al realizar un viaje para miembro del par. El indicador T, puede tener uno de los tres valores como los siguientes:

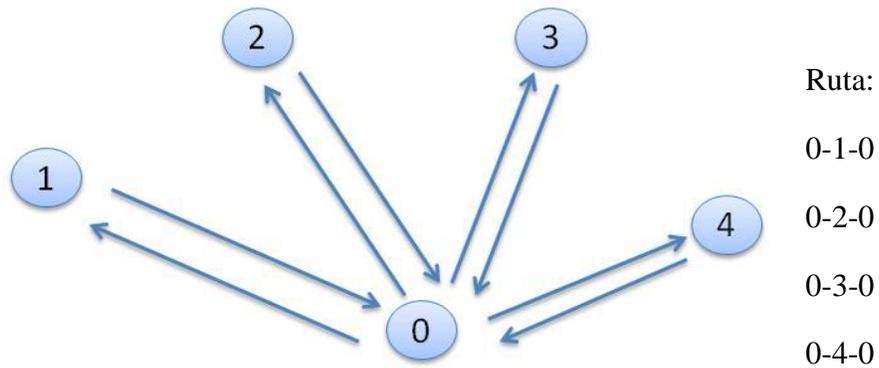
- a. T=2. Cuando un vehículo atraviesa desde el punto de origen a la localidad j (lugares como 1, 2, 3 y 4) y entonces retorna. Este es designado como $T_{0j}=2$ y aparecerá sólo en la primera fila de la matriz. El apropiado valor de T es ingresado en la matriz de ahorro neto y acompañado con un círculo para distinguirlo. Es decir, T=2, indica un viaje de ida y vuelta. Ver Tabla 6 y Figura 14.

Tabla 6

	1	2	3	4
0	○ 2	○ 2	○ 2	○ 2
1	-	11	7	2
2	-	-	17	14
3	-	-	-	9
4	-	-	-	-

Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Figura 14



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

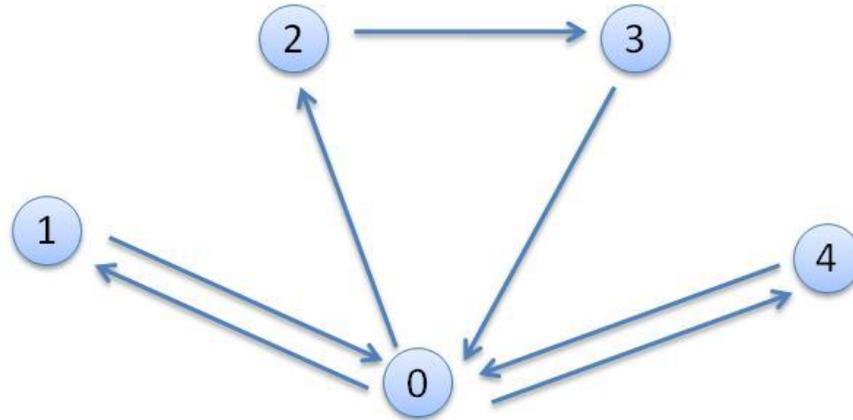
- b. $T=1$. Cuando un vehículo atraviesa directamente un camino entre dos localidades i y j , y se le designa T_{ij} indicando un camino. Ver Tabla 7 y Figura 15.

Tabla 7

	1	2	3	4
0	○ 2	○ 1	○ 1	○ 2
1	-	11	7	2
2	-	-	① 17	14
3	-	-	-	9
4	-	-	-	-

Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Figura 15



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

- c. $T=0$. Cuando un vehículo no atraviesa directamente entre dos localidades particulares i y j , y se le designa $T_{ij}=0$ cuando no hay viaje entre el par de localidades.

IV. Buscar la celda que contenga el ahorro máximo en la matriz de ahorro neto.

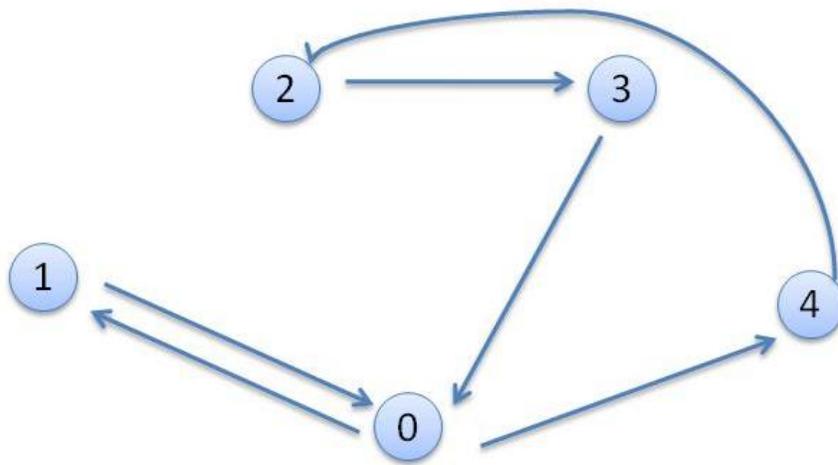
V. Si la cantidad máxima de ahorro neto, ocurre en la celda (i, j) ; estas localidades pueden ser enlazada, si y sólo si se cumple las siguientes condiciones:

- a. T_{0i} y T_{0j} deben ser mayores que cero.
- b. Las localidades i y j no se encuentran en la misma ruta.
- c. El enlace no viola cualquier restricción.

Cuando las tres condiciones se cumplen, el valor T_{ij} es uno. En caso de la celda $(2,3)$ tiene el valor de ahorro más alto, en este caso 17. Se observa que T_{02} y T_{03} son mayores que cero, las localidades 2 y 3 no pertenecen a alguna ruta y no existen restricciones en el enlace de las localidades 2 y 3, es decir, $T_{23}=1$, indicando que la celda es un viaje de un sólo camino.

Observando la Tabla 5: Matriz de ahorro, se observar que el siguiente valor es 14, es decir en la celda (2,4). Se tiene que T_{02} y T_{04} son mayores que cero, y las localidades no están en a misma ruta. Por lo tanto se puede enlazar la celda (2,4) y $T_{24}=1$. En consecuencia, las celdas (0,2) y (0,4) se exhibe un viaje. Ver Figura 16.

Figura 16



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

La nueva matriz de ahorro para esta nueva situación es lo siguiente (Ver Tabla 8):

Tabla 8

	1	2	3	4
0	○ 2		○ 1	○ 1
1	-	11	7	2
2	-	-	① 17	① 14
3	-	-	-	9
4	-	-	-	-

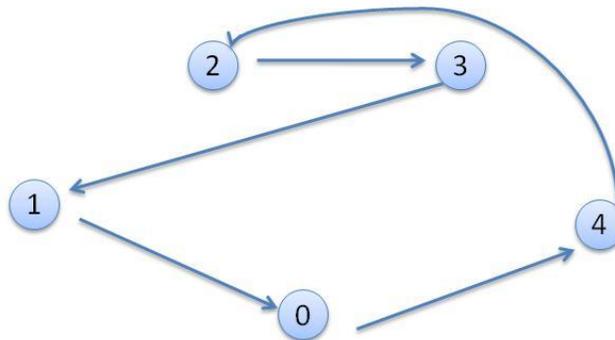
Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

Continuando buscando la ruta óptima donde permite maximizar el ahorro de distancia que permita obtener. En este caso, se presenta en el ahorro neto de 11 en la celda (1,2), pero si bien $T_{01} > 0$, no ocurre T_{02} , lo cual viola las condiciones de este algoritmo. El siguiente valor es 7 en la celda (1,3) y tiene las condiciones que requeridas por este algoritmo. Finalmente la solución es:

0-4-2-3-1-0

Gráficamente, la solución es la siguiente (Ver Figura 17: Solución final):

Figura 17: Solución final



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

La nueva matriz de ahorro para esta nueva situación es lo siguiente (Ver Tabla 9: Matriz de solución final.):

Tabla 9: Matriz de solución final.

	1	2	3	4
0	1			1
1	-	11	1 7	2
2	-	-	1 17	1 14
3	-	-	-	9
4	-	-	-	-

Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

4.2.3. Conclusión de la elección.

Con los tres modelos logísticos exhibidos anteriormente, y los requerimientos y las necesidades presentados por esta empresa constructora, el modelo logístico que finalmente se va a implementar es el modelo Clark & Wright por las siguientes razones:

- i) Permite obtener la restricción de la capacidad de los camiones y la restricción del tiempo de la entrega en los centros de gestión u obras. Es decir, el usuario sólo tiene que preocuparse del máximo ahorro de la distancia recorrida de los camiones.
- ii) Permite generar varias rutas óptimas para satisfacer todas las demandas, a partir de un solo centro de distribución. El algoritmo permite producir, a su vez, varias subrutas en vez de generar una sola ruta óptima como el otro algoritmo.
- iii) La implementación de este algoritmo es bastante más simple que los otros algoritmos, de esta manera, permite obtener un código de programación mucho más eficiente y óptimo, además reduce el error y el tiempo en dar la respuesta.

Por otro lado, si analiza en forma científica los dos algoritmos anteriormente mencionados, se obtienen los siguientes resultados señalados en la Tabla 10: Comparación de los métodos:

Tabla 10: Comparación de los métodos

Modelo logístico	Desviación del óptimo	Tiempo de ejecución
Inserción vecino más cercano	18.6%	0.3
Clark & Wright	9.6%	5.07

Fuente: Algoritmo heurístico en Optimización Combinatoria - Rafael Mati.

Como se puede observar, el modelo Inserción vecino más cercano tiene una desviación del óptimo doble al modelo Clark & Wright, pero el tiempo de ejecución del modelo Inserción vecino más cercano es 16 veces más rápido que Clark & Wright.

Por lo tanto, es difícil de tomar una decisión a partir de un estudio científico, puesto que cada uno presenta su ventaja y desventaja. Sin embargo, dado que lo que esta empresa constructora busca es la optimización de las rutas, lo más conveniente es que se quede con el algoritmo Clark & Wright, debido a su menor porcentaje de desviación que presenta frente al otro. Además, se considera que el avance de la tecnología de hoy es tal, que el tiempo de ejecución ya no es un grave problema para el mundo de la computación.

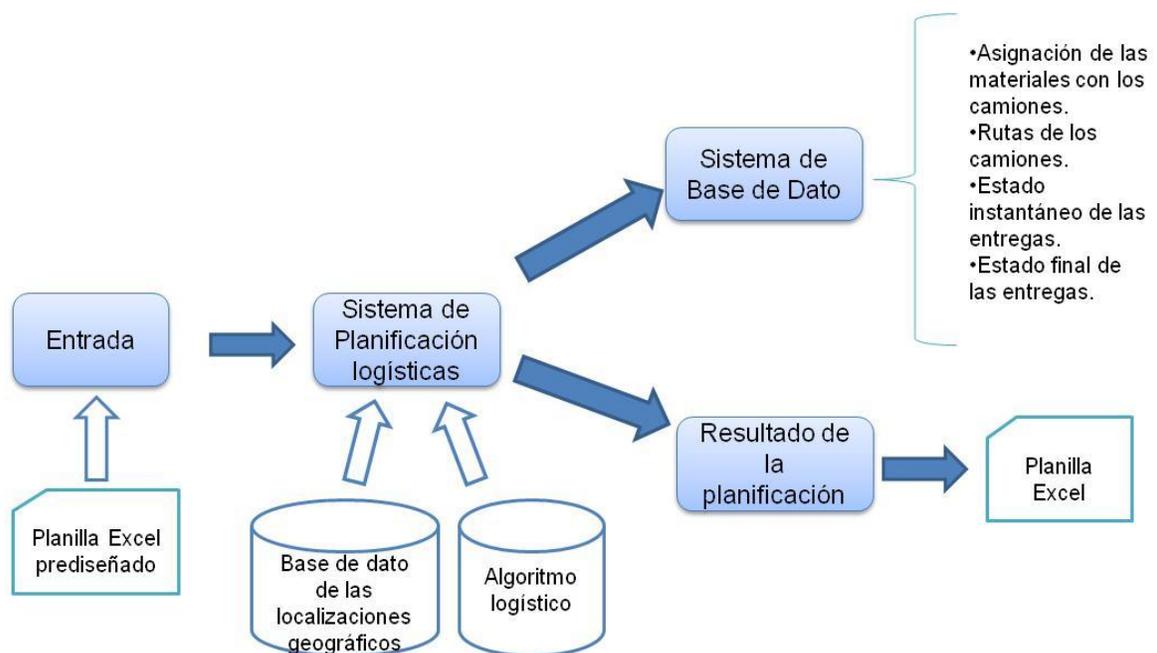
5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA LOGÍSTICO.

5.1. Diseño del sistema en general.

Para entender mejor la descripción general del sistema, se presenta un bosquejo general (de este sistema, que inicia con un usuario ingresando un documento que contiene cierta información requerida por el sistema, y luego este es capaz de procesarla y entregar un resultado de interés para el usuario.

Figura 18: Esquema general del sistema.) de este sistema, que inicia con un usuario ingresando un documento que contiene cierta información requerida por el sistema, y luego este es capaz de procesarla y entregar un resultado de interés para el usuario.

Figura 18: Esquema general del sistema.



Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

A continuación, se detalla la especificación de cada parte del proceso que permite optimizar el funcionamiento del sistema. Ver Tabla 11: Descripción general del sistema.

Tabla 11: Descripción general del sistema.

Modulo	Descripción	Modulo o sistema del apoyo
Entrada	Consiste de entregar una interfaz gráfica simple y amigable al usuario, donde le permite ingresar una planilla al sistema.	Un formato estándar de la planilla Excel. La elección de esta fue el amplio uso en diferentes aéreas de esta empresa constructora. (Ver Anexo 8.3)
Sistema de planificación logística	Este es el corazón del todo el sistema. Una vez que el usuario ingresa la planilla en la sección anterior, el sistema debe tomar los datos y procesarlos, apoyado en las informaciones de la base de dato de locación geográfica, donde se encuentran las distancias de las distintas obras, y también el algoritmo que permite optimizar la planificación.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Base de dato de localización geográfica: este sistema se actualiza constantemente (de las distancias de las distancias obras) ▪ Algoritmo logístico: es un módulo que contiene la programación para optimizar la planificación de la asignación de los materiales y las rutas de los camiones.
Sistema de base de dato	Esta base de dato, básicamente, es para registrar todas las informaciones generadas – asignaciones de los materiales en los camiones, rutas de los camiones, etc -. En base a ello es que se habla de	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Base de dato solido que permite consolidar todas las informaciones registradas. ▪ Interfaces graficas que permite al usuario ingresar informaciones.

	<p>un “sistema de planificación logística“. Asimismo, también se registra manualmente el estado en las entregas de los materiales durante el transcurso del tiempo, desde el despacho, hasta la entrega a una obra.</p>	
<p>Resultado de la planificación</p>	<p>Entregar el resultado de la planificación logística, tanto en la asignación de los materiales a los camiones, como las rutas de los camiones a través de una planilla Excel, o también desplegar dicho resultado en la pantalla.</p>	<p>Un formato estándar de la planilla Excel.</p>

Fuente: Diseñado por Chia – Luan Lee.

5.2. Diseño del algoritmo logístico.

De acuerdo a lo que se ha desarrollado hasta el momento, el algoritmo seleccionado para implementar en este sistema es el modelo “Clark & Wright“. Sin embargo, este algoritmo debe sufrir ciertas modificaciones, para poder adaptarse a la realidad de la empresa. Por ello, es que se requiere:

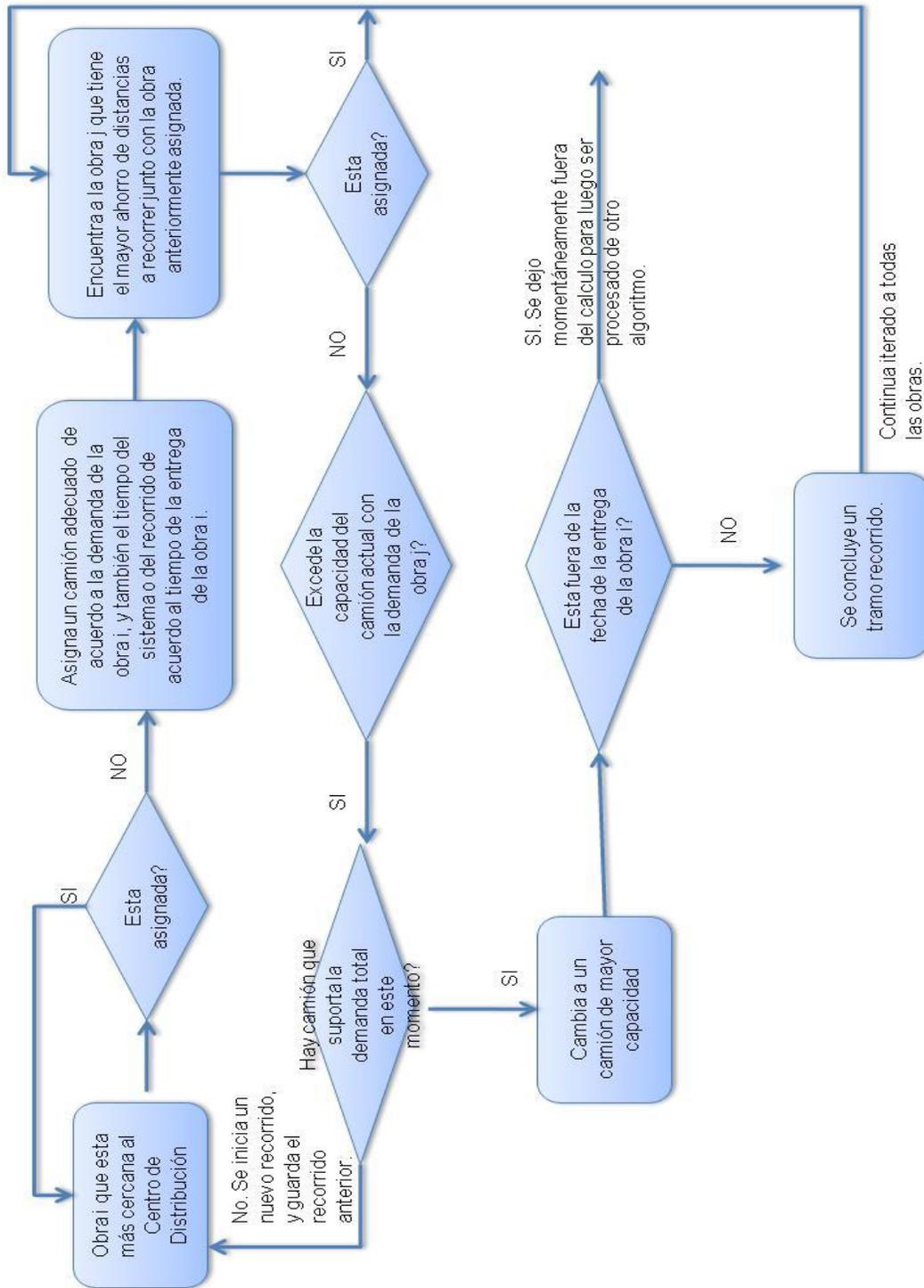
- i. Obtener la distancia de los centros de gestión requeridos con respecto al centro de distribución (Santiago) y también las distancias de los centros gestión con respecto a otros.

- ii. Ordenar la distancia de las obras con respecto al centro de distribución de menor a mayor distancia.
- iii. Aplicar el algoritmo de Clark & Wright para calcular las distancias que puedan ahorrar en recorrer las distintas obras, el procedimiento será los siguientes:
 - a. Calcular la distancia ahorrada de $S(i, j) = d(CD, i) + d(CD, j) - d(i, j)$, donde, CD: Centro de Distribución. $\forall i, j$ Obra en faena. El cálculo de las distancias de las ciudades se realiza en forma iterativa hasta que todos los centros de gestión han sido calculados por el algoritmo.
 - b. Las distancias ahorradas calculadas anteriormente, se almacena en una matriz de distancias donde contienen todas las distancias que permitan ahorrar entre dos puntos.
- iv. Para la asignación de las rutas de los camiones, debe considerar dos factores importante al momento de realizar la asignación:
 - a. Capacidad de cada camión: existen 3 tipos de tonelajes de los camiones: 10, 15 y 20 toneladas. La capacidad de volumen se omite para este trabajo, puesto que los materiales se acomodan los espacios disponibles al momento de cargar.
 - b. Demanda (en unidad de tonelaje) de cada obra en faena: en cada obra en faena demanda diferente requerimiento, y la suma de ellos presenta un peso (en unidad de tonelaje) diferente que las otras.
 - c. Fecha de la entrega: en cada obra en faena tiene diferente fecha de la entrega de sus requerimientos respectivos, por lo tanto, es sumamente importante de considerar la fecha de las entrega, puesto que si existe

una entrega fuera de la fecha de la entrega, por ejemplo, el atraso, puede causar una multa por incumplimiento al centro de distribución.

Considerando los anteriores, el flujo de asignación de las materiales se muestra en la Figura 19: Flujos de asignación de rutas.

Figura 19: Flujos de asignación de rutas.



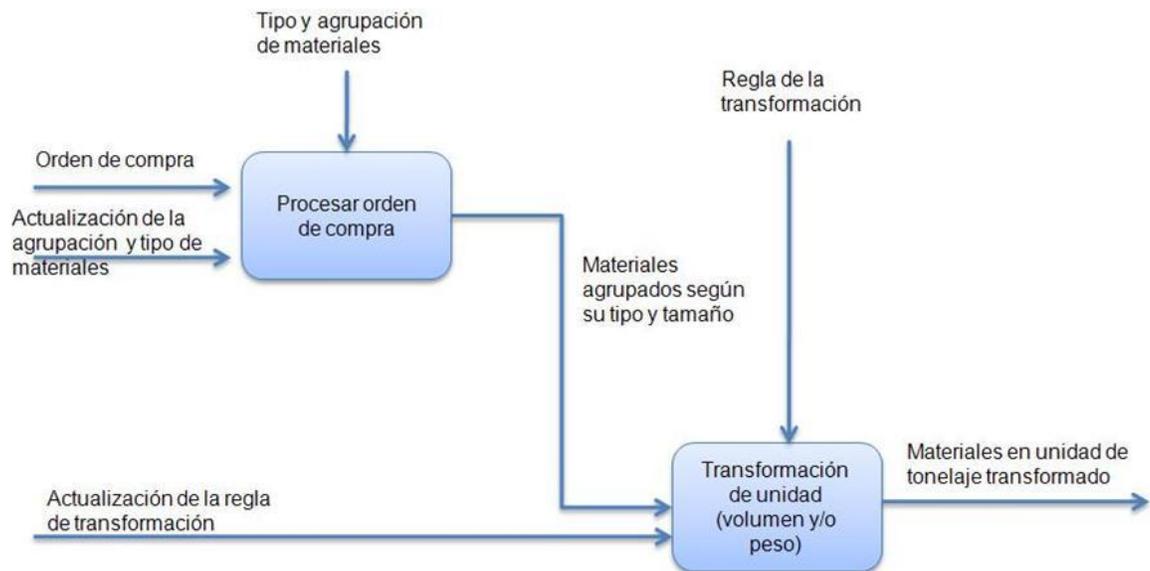
Fuente: Diseñado por Chia = Luan Lee.

Uno de los grandes desafíos de este trabajo fue la transformación de materiales, de diferentes tamaños y pesos, a una sola unidad de medida que es tonelada para este trabajo.

En la practica, existen numerosos materiales que tienen tamaño bastante grande, y a su vez presentando un peso muy liviano, pero dado a su tamaño, es posibles de ocupar un camión de máxima capacidad que es de 20 toneladas en este caso, por ejemplo, una oficina container.; en el caso contrario, un material muy pesado pero tiene poca volumen, por ejemplo, un paquete de fierro de construcción.

En la Figura 20: Diagrama del proceso de transformación de unidad de materiales, se muestra un breve resumen en IDEF0 sobre el funcionamiento de este algoritmo que será explicado a la continuación.

Figura 20: Diagrama del proceso de transformación de unidad de materiales



Fuente: Diseñado por Chia = Luan Lee.

La clave de este proceso fue la agrupación de los materiales, de acuerdo a: sus características, el tamaño y el peso respectivo. Por ejemplo, existen muchos tipos de cañerías, y en general, casi todas tienen el mismo tamaño, pero el peso es totalmente diferente una a otra. Esto, ya que existe: cañería de PVC (plástico), cobre, fierro y acero,

y por las características de cada una, pueden presentar diferentes masas, por más que el tamaño o la longitud sea la misma. Por ejemplo, una tubería PVC de 5 metros pesa 10Kgs, en cambio, una de acero pesa 100Kgs, por lo tanto, se agrupan todas las cañerías, de diferentes materiales, en una sola categoría.

A continuación, se presenta una tabla donde se resumen los materiales que se consideran de tamaño grande, pero de poco peso. Ver Tabla 12: Tabla de transformación de materiales de gran tamaño.

Tabla 12: Tabla de transformación de materiales de gran tamaño

Grupo	Ítems	Pesos
Oficina Container	▪ Oficina de container de 20.	▪ 10 toneladas cada uno.
	▪ Oficina de container de 40.	▪ 20 toneladas cada uno.
Maquinaria de iluminación	▪ Torre de iluminación de diferente tamaño.	▪ 2 toneladas cada una.
Generador	▪ Generador menor de 500 Watt	▪ 200 Kgs cada uno.
	▪ Generador menor de 1MegaWatt y mayor de 500 Watt.	▪ 1 tonelada cada uno
	▪ Generador de mayor de 1 MegaWatt	▪ 8 toneladas cada uno.
Mueble de oficinas	▪ Mesa, escritorio.	▪ 50 kgs cada uno.
	▪ Silla	▪ 3 kgs cada uno.
	▪ Mueble	▪ 70 kgs cada uno.
Maquinaria hormigón	▪ Mixer de hormigón móvil.	▪ 300 kgs cada uno. ▪ 10 toneladas.
Maquinaria de escalera	▪ Escalera tijera 5 metros.	▪ 2 toneladas cada uno.
	▪ Escalera tijera 10 metros.	▪ 4 toneladas cada uno.
Set de andamio	▪ Set de andamio de 100 piezas.	▪ 10toneladas cada uno.
Cañer ía o Tuber ía	▪ Tuber ía 5 metros	▪ 100 kgs cada uno.
	▪ Tuber ía 10 metros	▪ 200 kgs cada uno.
	▪ Tuber ía de 15 metros	▪ 300 kgs. cada uno.
	▪ Tuber ía de 20 metros.	▪ 400 Kgs cada uno.

Fuente: Diseñado por Chia = Luan Lee.

Hay que destacar que existe otro tipo de carga llamado “maquinaria pesada” como, grúa hidráulica, grúa torre, ascensores, bomba de hormigón estacionario, entre otros. Estas maquinarias no se consideran dentro del estudio de este trabajo, puesto que estas maquinarias tienen una manera estándar de transportar a ellos, y por razones de seguridad, no es posible compatibilizarlas junto con las otras cargas.

Cabe de señalar que existen otros materiales que no deben ser clasificados, necesariamente, dentro de un el grupo, puesto que la gran mayoría de los materiales tiene un tamaño considerablemente mediano o pequeño, que justifica su relación entre el tamaño y el peso. Por lo tanto, ellos no generan un gran problema al momento de la asignación y en la distribución de espacios disponibles arriba de un camión. Algunos ejemplos de ellos son: cerámica, herramienta eléctrica, saco de cemento, madera, entre otros.

Los camiones que están fuera de la fecha de entrega, en el recorrido normal, se verán determinados por los siguientes parámetros:

- i) En el caso que las obras no se puedan entregar a la fecha, de acuerdo con los requerimientos de las obras, el sistema dejará a las obras anteriores momentáneamente fuera de la asignación, puesto que ninguna de ellas es descartada de formar parte de un recorrido normal.
- ii) En base a ello, el sistema debe hacer un nuevo cálculo especial para dichas obras. La única diferencia con el anterior, es que cuando una obra tiene una fecha de entrega que no es compatible con el resto en las iteraciones, simplemente se le asigna un camión especialmente dedicado a dicha obra, para poder entregar la demanda a tiempo.

5.3. Diseño del sistema base de datos.

Una de los procedimientos más interesantes para este sistema logístico, es el desarrollo e implementación de un sistema de base de dato que permita registrar todos los movimientos, tanto en las asignaciones de los materiales, como los seguimientos de ellos.

Se presenta una serie de trabajos que permitan a los ingenieros de las TI (Tecnologías de Información) entender los principales requerimientos de este sistema, y a partir de ellos, implementar un sistema de base de datos eficiente con un lenguaje de programación existente.

5.3.1. Requerimientos del sistema base de datos.

5.3.1.1. Manipulación de datos.

El sistema de base de datos debe tener a lo menos las siguientes funciones:

- a. Inserción:** Agregar nuevo dato o información a los ítems requeridos por todas las tablas, como: materiales, órdenes de compra, camiones, entre otros. Esta operación se realiza cada vez que haya información nueva y no existente dentro de la base de datos.
- b. Modificación:** Actualizar y modificar los datos existentes dentro de las tablas. Esta modificación se realiza con el fin de solucionar la necesidad de reparar información equivocada o actualizar los datos obsoletos. Las modificaciones que se realicen al sistema, cada vez que ocurran, deben ser respaldadas, con el fin de evitar la pérdida de información por posibles equivocaciones en actualizaciones o modificaciones de los datos.
- c. Consultas:** Preguntas para obtener un cruce de informaciones dentro de la base de datos, de acuerdo a los diferentes requerimientos generados por los usuarios.

Las consultas que se realizaran son los siguientes:

- **Rutas de los camiones:** El sistema debe responder a las rutas asignados de los camiones por el algoritmo logístico del sistema. Es decir, el sistema debe que entregar un listado de las obras que tiene que recorrer por cada camión.
- **Orden de compra que fueron asignado en cada camión:** El sistema debe entregar las diferentes órdenes de compra que fueron asignado en cada camión. Este tipo de consulta, se tiene que entregar los detalles de los materiales que contienen en cada orden de compra.
- **Estado de envíos instantáneo de orden de compra:** El sistema tiene que ser capaz de indicar el estado de entrega instantáneo de cada orden de compra. Es decir, entregar información como, el lugar que se encuentra el camión, en que etapa se encuentra en el proceso de entrega en cada obra.
- **Estado final de la entrega de cada orden de compra:** El sistema debe entregar el estado final de cada entrega o de orden de compra, es decir: dar información sobre: el estado físico de los materiales, la cantidad final entregada, la fecha y el tiempo final de la entrega, entre otras.
- **Estadísticas de los camiones:** El sistema ha de generar un informe de las estadísticas de las utilizations de los camiones subcontratados. En otras palabras: el sistema debe entregar un informe de la cantidad total y del promedio recorrido de cada tonelaje de camiones que fueron utilizados durante el tiempo (semanal, mensual, semestral y anual), el promedio de las fallas o en panas de los camiones, entre otros.
- **Estadísticas de las entregas:** El sistema debe ser capaz de dar información sobre las estadísticas de las entregas de las materiales de cada orden de compra. Es decir, dicho informe debe contener: la cantidad total

y el promedio de las entregas que entregaron materiales dañados y en condición aceptable; la cantidad total y el promedio de las entregas que sufren algunos robos de las materiales; la cantidad y el promedio de las entregas que fueron despachadas a tiempo y atrasadas, entre otras.

- d. Borrado:** Eliminación de los datos, que se realizará con la condición de que éstos no presenten ninguna utilidad para el sistema. Los usuarios de alto nivel sólo podrán borrar un registro a la vez, y sólo el administrador del sistema será quien pueda realizar eliminaciones masivas de datos. En los dos casos de borrado anteriores, el sistema deberá realizar un respaldo de los datos antes de llevar a cabo la acción. El sistema será respaldado (valga la redundancia) completamente de forma periódica, con el fin de asegurar la integridad del mismo y la persistencia de la información almacenada.

5.3.1.2. Volúmenes de informaciones.

La información será almacenada localmente en el servidor de la empresa. El sistema de base de datos debe tener la capacidad para almacenar la información detallada de:

- MATERIAL (Aprox. 20.000 ítems)
- ORDEN DE COMPRA (Aprox. 3.000 ítems diarios)
- CENTRO DE GESTIÓN (Aprox. 150 obras anualmente)
- CAMIÓN (Aprox. 25 camiones diarios)
- ESTADO INSTANTÁNEO (Aprox. 3.000 ítems diarios)
- ESTADO FINAL (Aprox. 3.000 ítems diarios)
- RUTAS CAMIONES (Aprox. 20 ítems diarios)

Dada esta estimación, se puede observar que la base de datos maneja un volumen de información relativamente grande. Las informaciones de las órdenes de compra, los camiones, los estados instantáneos, los estados finales y las rutas de los camiones, etc., ocuparán espacio en el disco, que crecerá linealmente en el tiempo. El resto de la

información será modificada esporádicamente, y no requerirá de mucho espacio en el disco, por lo que se puede considerar de tamaño constante.

5.3.1.3. Velocidad de respuesta.

La velocidad de respuesta de las distintas consultas que se realizarán sobre la base de datos, se considerará razonable si no toma más de tres segundos para los casos más críticos, que involucran tres cruces de datos. Por ejemplo, conocer la ubicación instantánea donde se encuentra el camión de una orden de compra, en un momento dado.

5.3.1.4. Diccionario de datos.

Los datos que manejarán en este sistema de la base de datos serán los siguientes:

- **Material:** contiene las informaciones de todos los materiales de construcción. El nombre, dimensión y el peso de cada uno, por ejemplo.
- **Orden de compra:** contiene las informaciones necesarias que están contenidas en una orden de compra. Los productos comprados, fecha y hora de la entrega y por último, el monto total de cada orden de compra.
- **Despacho:** contiene las informaciones de las órdenes de compras que fueron despachadas por cada camión, y también la fecha de despacho de cada orden de compra.
- **Centro de gestión:** contiene las informaciones de una obra. Corresponden al nombre y la ubicación de una obra.
- **Camión:** contiene las informaciones de un camión. Comprende la patente y el nombre de chofer.

- **Ruta Camión:** contiene las informaciones de las rutas u obras que tiene que recorrer cada camión que fue asignado por el sistema.
- **Estado final:** contiene las informaciones sobre los estados físicos, la cantidad final, la fecha y la hora final de la cada entrega de las órdenes de compra.
- **Estado instantáneo:** contiene las informaciones sobre: la situación actual de los camiones, la fecha y la hora en que fue actualizada cada orden de compra.

5.3.1.5. Reglas semánticas.

Las reglas para los tipos de datos que se han mencionando anteriormente son los siguientes:

- **ID_XXXX (ID Materia, ID Compra, ID CG, ID Camión, ID Estado Instantáneo, ID Estado Final):** compuesto de un numero entero serial.
- **Nombres:** Campo alfanumérico con un largo máximo fijo de 50 caracteres.
- **Fechas:** campo alfanumérico con formato de DD/MM/AAAA o adaptar al estándar de cada sistema de base de datos.
- **Horas:** campo alfanumérico con formato MM:HH o adaptar al estándar de cada sistema de base de datos.
- **Precio y monto total:** campo numérico tipo decimal (1000.00)
- **Situación o otros campos de caracteres:** campo alfanumérico de tipo texto, no hay restricción de largo máximo.

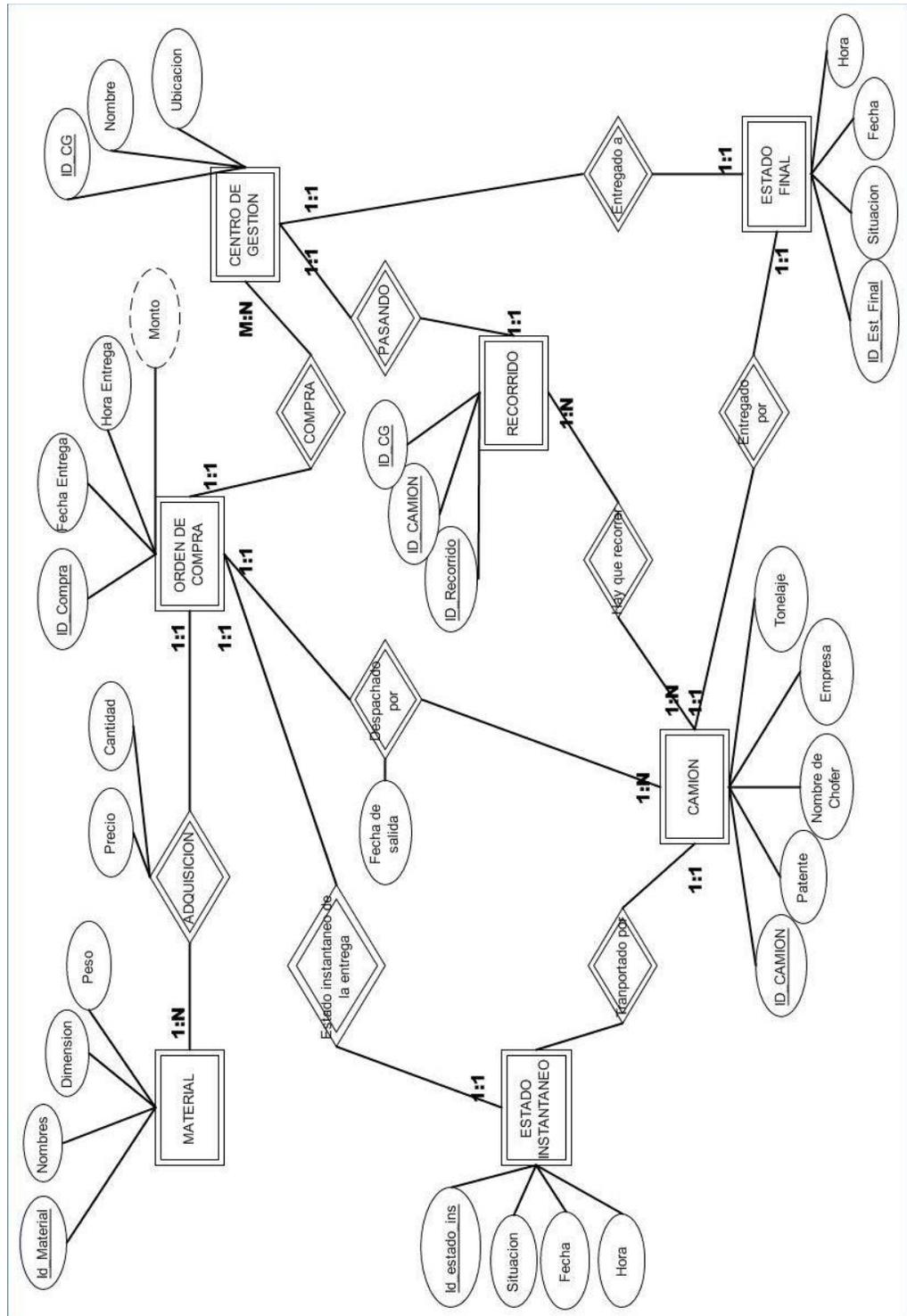
5.3.1.6. Restricciones.

Las restricciones identificadas a considerar son:

- Fechas: 0<DD<32, 0<MM<13, 1990<AAAA.
- Horas: -1<MM<60, -1<HH<24.
- El precio, la cantidad y el monto debe ser positivo, es decir mayor a 0.
- Los campos de caracteres o de textos no pueden estar vacío, puesto que debe registrar todos los eventos ocurridos.

5.3.2. Diagrama Entidad – Relación.

Figura 21: Diagrama de Entidad - Relación



Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIÓN.

En base a todos los trabajos precedentes, al desglose de la propuesta de trabajo expuesta a lo largo de este informe, es factible aseverar que fue posible seleccionar una metodología, y varias herramientas, para diseñar un prototipo de sistema que permita optimizar el proceso de la planificación y el control del seguimiento de las órdenes de compra de la empresa constructora, a lo largo del país.

Dentro de las conclusiones que se desprenden de este trabajo, es menester considerar que una herramienta analítica, como la que se propone, el algoritmo de Clark & Wright, puede tener gran valor para una empresa que se caracteriza por exhibir una alta demanda de un transporte específico. Entre otros beneficios, este tipo de herramienta permite obtener soluciones óptimas o cercanas a lo óptimo, ayuda a analizar muchos escenarios distintos en forma rápida y precisa, y permite entender mejor cómo incide cualquier cambio de escenario sobre la estructura de costo logístico.

Para poder estimar los beneficios asociados (costo, facilidad y el tiempo de desarrollos, tiempo de respuesta, confiabilidad de la respuesta, etc.) a la implementación del algoritmo para planificar el ruteo de los camiones, se procedió a desarrollar tres algoritmos más conocido en el mercado para resolver el problema del ruteo que hay en esta empresa constructora, más conocido como el problema del vendedor viajero.

Se evaluaron tres algoritmos que podían constituirse en un recurso para resolver el problema del vendedor viajero, los cuales fueron: Inserción exacta (modelo exacto), Inserción del vecino más cercano (modelo heurístico) y Clark & Wright (modelo heurístico). De los tres algoritmos, se evaluaron los siguientes criterios: la factibilidad de la implementación, el tiempo para resolver un problema, y las características que posee cada uno (por ejemplo, si es adaptable para resolver el problema logístico de la empresa) Finalmente, se seleccionó el algoritmo Clark & Wright, por las siguientes razones:

- i) Permite resolver el problema principal, sin importar el costo fijo, así como también, el problema con respecto a la restricción a la capacidad de los camiones.

- ii) Se puede resolver el problema con ventanas del tiempo, factor sumamente importante para esta empresa, ya que cada obra tiene su fecha de entrega, la cual es incompatible con los otros.
- iii) Generar varias rutas y/o subrutas óptimas de manera satisfacer todas las órdenes de compra a lo largo del país.
- iv) La implementación de este algoritmo es más sencilla que los otros algoritmos existentes, de manera tal que permite desarrollar un código de programación más óptimo y eficiente.

Una vez, obtenido el algoritmo, se desarrolló un prototipo para simular lo que debiera hacerse en el sistema real. El prototipo está desarrollado con el lenguaje de la programación J2SE, sumado a la integración de librería externa, para apoyar el desarrollo del dicho algoritmo.

Cuando finalizó el desarrollo de este algoritmo logístico, se tomó un ejemplar de 200 órdenes de compra, para someterla a la velocidad de respuesta , y comprobar así en cuánto se acercaba a la solución óptima. Se realizó la prueba en un computador del escritorio DELL Optilex 755, con una procesadora Intel Duo Core 2.0 GHz y memoria RAM de 2 GB. El resultado fue bastante prometedor, óptimo con respecto a lo que se esperaba. El tiempo de la respuesta fue de 1.351 segundos, lo que se traduce en gran ahorro del tiempo con respecto al trabajo, debido a que antes se necesitaban, por lo menos 3, horas en realizarlo. El resultado entregado fue bastante óptimo en comparación al resultado calculado en forma manual.

El diseño del sistema base de datos consiste en un módulo extra de apoyo, que permita respaldar los resultados de la planificación, y también el control de los seguimientos de las órdenes de compra. Es importante destacar que la base de datos sólo está diseñada para gestionar cierta cantidad de informaciones, pero con el transcurso del tiempo, dicho modelo puede quedar obsoleto, dada la velocidad ascendente del crecimiento de las informaciones.

Es preciso, también, indicar que este trabajo representa un primer esfuerzo en el camino de la optimización logística de esta empresa constructora, y por tanto, hay mucho por hacer aún. Existen distintas líneas de trabajo que surgen como prolongación natural de este trabajo. Estas líneas de trabajo pueden agruparse en: trabajo en la empresa constructora y trabajo de investigación.

Respecto al trabajo que la empresa constructora debiera realizar, se propone lo siguiente:

- i) En la empresa constructora debiera implementarse este sistema, con el un respaldo de un estudio o una programación matemática, de manera de procurar ajustar los parámetros del modelo, a fin de que sea una representación lo más fiel posible de la realidad de esta empresa.
- ii) Una vez implementado el sistema, los diferentes niveles administrativos de la empresa tienen que empezar a experimentar con éste, y posteriormente, a utilizarlo. Mientras transcurre el tiempo de experimentación y utilización de este sistema, los administrativos debieran estar en condición de generar y analizar distintos escenarios.

Respecto al trabajo de la investigación, se proponen estas líneas de trabajos:

- i) Con el objeto de optimizar la planificación de las rutas de los camiones y la asignación de las órdenes de compra, resulta muy importante manejar un algoritmo más adecuado para la empresa, y no tomar un algoritmo existente e implementarlo. En este caso, la empresa constructora debería estudiar otros algoritmos logísticos, para posteriormente construir un mix o modificación de ellos, de manera que se logre el más adecuado para esta empresa.
- ii) Con respecto a la incertidumbre que se produce entre los distintos agentes, especialmente en las obras, la empresa debiera mejorar su capacidad predictiva, sobre todo en las horas de las entregas de las obras. Para ello, sería interesante incorporar un estudio de los distintos tipos de herramientas de predicción de series de tiempo.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- I. Simchi-Levi, David; kaminsky, Philip; Simchi-levi, Edith. **Designing and Managing the Supply Chain**. Irwin McGraw-Hill, 2000.
- II. European Journal of Operational Research, 1992. **The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms**.
- III. Alonso Vera C. **El problema de rute de vehículos solucionados con Heurísticas**. Tesis de Magister Pontificia Universidad Católica Chile, 1996.
- IV. Marius Solomon, 1987. **Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows Constraints Operation Research**. 35, 254-265p.
- V. Ian Somerville. **Software Engineering 6° Edition**. McGraw Hill, 2000.
- VI. Oscar Barros. **Rediseño de procesos de negocios usando patrones**. Dolmen Ediciones, 2000.
- VII. Elmasri Ramez, Shamkant B. Navathe. **Fundamentos de sistemas de bases de datos 3rd. Edición**. Pearson Educación 2002.

8. ANEXO.

8.1. Calculo sobre la estimación del ahorro operacional.

A continuación, se presenta un ejemplo que fue utilizado para calcular sobre la estimación de ahorro operacional que se puede obtener utilizando el algoritmo Clark & Wright.

Para esto, se consideraron las 13 ciudades más importantes de Chile: Arica, Iquique, Antofagasta, Copiapó, La Serena, Valparaíso, Rancagua, Talca, Concepción, Temuco, Osorno y Puerto Montt. En cada ciudad hay una demanda, en unidades de tonelada, de un día cualquiera (que fue seleccionado aleatoriamente)

Lo anterior, se puede resumir los anteriores en la Tabla 13: Matriz de distancias de las ciudades chilena., Tabla 14: Matriz del ahorro de distancias entre las ciudades chilena. y Tabla 15: Demandas de las ciudades.

Tabla 13: Matriz de distancias de las ciudades chilena.

Santiago																			
2062	Arica																		
1853	316	Iquique																	
1361	701	492	Antofagasta																
801	614	410	213	Copiapó															
474	1598	1387	900	333	La Serena														
120	2020	1811	1319	759	432	Valparaiso													
87	2149	1940	1448	888	561	207	Rancagua												
257	2319	2110	1618	1052	731	377	170	Talca											
519	2581	2372	1880	1314	993	639	432	262	Concepcion										
677	2739	2530	2038	1472	1151	797	590	420	287	Temuco									
913	2975	2766	2274	1708	1387	1033	826	656	523	236	Osorno								
1018	3078	2869	2377	1811	1459	1136	929	759	626	339	109	Puerto Montt							

Fuente: TURISTEL Chile.

Camión de 20 toneladas y con una carga total de 19 toneladas.

Distancia total recorrida sin Clark & Wright:

$$(2062 + 1853 + 1361 + 801 + 474 + 120) * 2 = 13342.$$

Distancia total recorrida con Clark & Wright:

$$2062 + 316 + 492 + 213 + 333 + 432 + 120 = 3968.$$

Ahorra el 70% de
distancias recorridas.

Ruta 2: Santiago -> Rancagua -> Talca – Santiago.

Camión de 10 toneladas y con una carga total de 7.5 toneladas.

Distancia total recorrida sin Clark & Wright:

$$(87 + 257) * 2 = 688.$$

Distancia total recorrida con Clark & Wright:

$$87 + 170 + 257 = 514.$$

Ahorra el 30% de
distancias recorridas.

Ruta 3: Santiago -> Concepción -> Temuco -> Osorno -> Puerto Montt -> Santiago.

Camión de 15 toneladas y con una carga total de 15 toneladas.

Distancia total recorrida sin Clark & Wright:

$$(519 + 677 + 913 + 1018) * 2 = 6254.$$

Distancia total recorrida con Clark & Wright:

$$519 + 287 + 236 + 109 + 1018 = 2169.$$

Ahorra el 70% de
distancias recorridas.

Tabla 16: Resultado rutas optima usando Algoritmo Clark & Wright.

DDA total	DDA (Kgs)	Santiago	Arica	Iquique	Antofagasta	Copiapo	La Serena	Valparaiso	Rancagua	Talca	Concepcion	Temuco	Osorno	Puerto Montt
	0													
19000	3000		3599											
	2000		2722	2722										
	5000		2249	2244	1949									
	1500		938	940	935	942								
	2000		162	162	162	162	162							
7500	4000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3500		0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
	5500		0	0	0	0	6	0	0	174	514	0	0	0
15000	3000		0	0	0	0	6	0	0	174	514	909	1354	0
	2500		0	0	0	0	6	0	0	174	514	909	1354	0
	4000		0	2	2	2	8	33	2	176	516	911	1356	1822

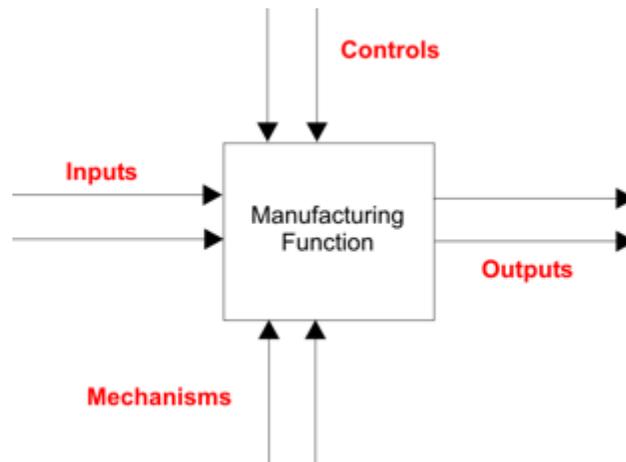
Fuente: Elaboración propia.

8.2. Diagrama del flujo IDEF0.

Descripción

IDEF0 es un método diseñado para modelar las decisiones, acciones, y las actividades de una organización o sistema. Los modelos de IDEF0 son eficaces para ayudar a organizar el análisis de un sistema, y para promover la buena comunicación entre el analista y el cliente. Además, es útil para establecer el alcance de un análisis, sobre todo para un análisis funcional. Como una herramienta de comunicación, IDEF0 aumenta la participación de expertos en la toma de decisiones, mediante la simplificación gráfica de los dispositivos. Como una herramienta de análisis, asimismo, IDEF0 ayuda en la identificación sobre qué funciones se realizan, lo que es necesario para llevar a cabo esas funciones (lo que hace bien el sistema actual, y lo que hace mal)

Presentación grafica



8.3. Formato estándar de la planilla Excel

A continuación, se presenta el formato estándar de la planilla Excel, el cual debe ser llenado con informaciones tales como: el lugar donde se ejecuta la obra, demanda total (en unidad de tonelaje total), fecha y la hora de la entrega. Ver Figura 22: Formato estándar de la planilla Excel.

En la planilla sólo contiene 4 campos, las cuales son: Obra, Demanda, Fecha de entrega y Tiempo de entrega. Los campos anteriores no son alternados, puesto a alternar cualquier campo anterior, afectara el funcionamiento del sistema.

Figura 22: Formato estándar de la planilla Excel.

Obra	Demanda	Fecha Entrega	Tiempo Entrega
Obra 1	1000	20/02/2008	11:30
Obra 2	2000	20/02/2008	12:00
Obra 3	3000	20/02/2008	14:00
Obra 4	4000	20/02/2008	19:00

Fuente: Elaboración propia.