



DISEÑO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y SUMINISTRO

"Llenroc Plastics Corporation"

**PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL**

Autor:

Fernando Rodríguez González

Tutor:

Jesús Muñuzuri Sanz

Departamento:

Organización Industrial y Gestión de Empresas.

Marzo.2007

Índice General:

INTRODUCCIÓN	5
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
2. LA IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA.....	7
PARTE I Modelo WDL Original.....	9
The Llenroc Plastics Corporation.	11
3. PRINCIPALES COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	13
3.1. Datos de partida.....	13
3.2. Elementos de decisión	14
3.2.1. Número y localización de Almacenes Regionales.....	14
3.2.2. Asignación de Regiones de Venta a los Almacenes.....	14
3.2.3. Rutas de camiones “long haul” desde almacenes regionales a BBP y frecuencia en cada ruta.....	14
3.2.4. Capacidad de cada Almacén.....	15
3.2.5. Frecuencia de camiones “long haul” desde central a almacenes regionales.....	15
3.2.6. Política de inventario:	15
3.3. Resultado del cálculo.....	18
3.3.1. Capacidad de beneficio económico (Beneficios antes de impuestos).....	18
3.3.2. Servicio al cliente.....	21
4. DESCRIPCION DEL PROCESO DE DISEÑO	25
4.1. Paso 1: Determinar número de almacenes y su localización.....	25
4.2. Paso 2: Asignación de las regiones de ventas a almacenes.....	27
4.3. Paso 3: Establecer rutas que cubran todas las regiones de venta.....	27
4.4. Paso 4: Determinar frecuencia de viajes por ruta, según demanda.....	30
4.5. Paso 5: Decidir necesidades de stock.....	30
4.6. Paso 6: Decidir la capacidad de cada almacén.....	32
4.7. Paso 7: Elegir el mejor modelo bajo el punto de vista coste/servicio.....	32
5. DESCRIPCION ECONÓMICA/FUNCIONAL DE MODELOS.....	33
5.1. Modelo FER00: MAXIMOS ALMACENES REGIONALES (11 AR).....	33
5.2. Modelo FER01: PRIMERA REDUCCIÓN DE ALMACENES REGIONALES (7 AR).....	36
5.3. Modelo FER02: SEGUNDA REDUCCIÓN DE ALMACENES REGIONALES (3 AR).....	38
5.4. Modelo FER03: IGUAL MODELO FER02 CON REESTUDIO DE INVENTARIO.....	41
5.5. Modelo FER04: MÁXIMA REDUCCIÓN DE ALMACENES REGIONALES (0 AR): CENTRALIZADO.....	43
5.6. Modelo FER05: DESCENTRALIZACION ZONA OESTE SOLO UN ALMACEN REGIONAL (1 AR).....	46
5.7. Modelo FER06: DESCENTRALIZACION ZONA OESTE. REESTUDIO DE NIVELES DE INVENTARIO.....	50
6. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PROPUESTO.....	53
6.1. Rentabilidad de Canal.....	53
6.2. Aproximación al Coste Total.....	54
6.3. Costes de Almacenaje y de Transporte.....	55
6.4. Análisis de niveles de Stock. Ley de Inventarios de la Raíz Cuadrada:.....	56
6.5. Análisis comparativo del nivel de servicio vs. beneficio.....	57
6.6. Selección del modelo a proponer.....	59
6.7. Aplicación de métodos para la mejora de la solución a proponer.....	61
6.7.1. Problema del Agente Viajero.....	61
6.7.2. Análisis de PARETO para aumentar el nivel de servicio (reduciendo esperas máximas).....	62
6.7.3. Metodologías de programación. Nivelación de recursos de transporte.....	67
6.7.4. Cálculo de niveles de stock de seguridad.....	88
7. MODELO PROPUESTO: FER07.....	91
7.1. Análisis Económico, Funcional Y Estratégico.....	91
7.2. Conclusiones. (Primera Parte).....	95

PARTE II Modelo WLD Simplificado	97
Simplificación del modelo.....	99
8. PLANTEAMIENTO DEL NUEVO MODELO WLD SIMPLIFICADO.	103
8.1. Adaptación de software “Warehouse Location Designer”.....	103
8.2. Datos de partida	103
8.3. Variables de decisión.	110
8.4. Formulación matemática del problema.	110
8.5. Cálculos iniciales para posterior optimización.....	112
8.5.1. Modelo ANDALC.WHL: Base para posterior cálculo con SOLVER.	112
8.5.2. Modelo ANDALO.WHL: CENTRALIZADO. 3 Grandes Rutas Lógicas.	114
8.5.3. Modelo ANDALUZ.WHL: DOBLE CENTRAL: AC=JAÉN; AR=SEVILLA.	117
8.5.4. Modelo ANDAL1.WHL: DOBLE CENTRAL: Con Reestudio De Rutas.....	121
9. HERRAMIENTAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.	125
9.1. Localización de Almacenes y Asignación de Regiones de Venta (regionales o central).	126
9.2. Problema de Rutas de vehículos.	134
10. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN AL MODELO SIMPLIFICADO.	139
10.1. Optimización mediante SOLVER.	139
10.1.1. Resolución del modelo mediante SOLVER	139
10.1.2. Modelo ANDALD.WHL: Resultado Obtenido con Solver.	148
10.1.3. Cuadro Comparativo de Modelos Estudiados.	151
10.1.4. Comprobación de resultados.....	152
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS	159
SOFTWARE UTILIZADO	159

INTRODUCCIÓN

1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

La logística de distribución, y dentro de ella, la distribución física, puede ser la diferencia entre el éxito y el fracaso de un negocio. Esta actividad consiste en hacerle llegar al consumidor los productos elaborados por un productor, satisfaciendo requerimientos de cantidad, calidad, plazo y coste. Es decir concreta el encuentro entre la oferta y la demanda, de ahí su importancia.

Basándonos en el software didáctico “**Wharehouse Location Designer**” (WLD), desarrollado por los profesores Peter L. Jackson y John Muckstadt de la Universidad de Cornell, en Itaca, Nueva York, explicaremos el proceso de diseño de un sistema de distribución física de productos.

Decidiremos de forma razonada cada uno de los factores que definen los sistemas de distribución, y analizaremos las ventajas y desventajas de cada decisión a lo largo de distintos modelos.

Partiendo de unos objetivos iniciales, el problema de DISEÑO INTEGRADO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA o SUPPLY CHAIN DESIGN se puede descomponer en estos otros problemas parciales de decisión:

- La ubicación, número y superficie de posibles almacenes regionales o intermedios.
- La asignación de las distintas regiones de venta a almacenes regionales elegidos.
- La planificación de las grandes rutas de distribución.
- Las políticas de inventario.

Las complejas interacciones relativas a ubicaciones, capacidades de almacén, políticas de transporte y de inventario en la **búsqueda equilibrada de dos objetivos divergentes: mayores beneficios y servicio al cliente** nos ofrecerán una clara visión sobre el interesante proceso de diseño de sistemas de distribución.

Existe una extensa bibliografía que ayuda al modelado, decisión y búsqueda de soluciones óptimas específicas para cada uno de estos problemas. La integración de todos los problemas como distintas caras del mismo prisma, deberá efectuarse evaluando la importancia de cada variable en términos empresariales: beneficio y servicio al cliente.

En el presente proyecto trataremos de modelar un proceso de selección a través de decisiones, que relacionadas entre ellas, aporten una solución global válida a este tipo de problemas.

El proyecto, se ha dividido en dos partes claramente diferenciadas:

- En primer lugar exponemos distintos modelos alternativos y realizamos análisis comparativos enfocados a los objetivos básicos que debe perseguir un sistema de distribución. En esta parte analizamos el problema de forma integrada, e identificaremos los distintos “problemas parciales” que componen el “problema global” del diseño de un sistema de distribución.
- Para poder explicar algoritmos y heurísticas diseñadas para cada uno de estos problemas parciales, necesitamos reducir el número de variables y manejar un sistema más pequeño y cercano. Con este objetivo, el profesor Peter L. Jackson, uno de los autores del software que nos sirve de herramienta para presentar el proyecto, nos ha adaptado el modelo a la región de Andalucía.

PRIMERA PARTE:

Esta primera parte nos acerca a los problemas conceptuales de la distribución logística. El software utilizado es WLD en su versión original, por tanto el modelo se desarrolla sobre la geografía norteamericana.

Partiendo de la definición de los distintos elementos o conceptos que forman un sistema de distribución se diseñan distintos modelos situados, siguiendo una secuencia lógica pasaremos desde la descentralización máxima a la centralización total. Veremos las ventajas e inconvenientes de cada una de las alternativas y la evolución de los parámetros que marcan nuestro doble objetivo: Beneficio Neto y Nivel de Servicio (tiempo de espera de clientes).

Entre los siete modelos diseñados se selecciona el mejor mediante un análisis comparativo que busca el equilibrio entre beneficio y tiempo de espera.

El modelo seleccionado es finalmente perfilado aplicando técnicas que mejoran partes específicas del problema global: cálculo de rutas alternativas, mejora de niveles de stock mediante un análisis de Pareto, y buscando las necesidades mínimas de recursos (camiones) para seguir manteniendo el nivel de servicio adecuado, gracias a la nivelación de la programación de la distribución.

El modelo final resultante es expuesto con mayor detalle (pantallas de decisiones y resultados).

En resumen, los pasos seguidos para el desarrollo de esta primera parte, han sido los siguientes:

1. Identificar y describir los principales componentes de un sistema de distribución.
2. Describir el proceso de diseño de un sistema de distribución.
3. Elaboración de varios modelos y análisis de ventajas e inconvenientes de cada uno.
4. Comparar tanto económica como funcionalmente los distintos modelos. Selección del mejor.
5. Mejorar el modelo mediante utilización de técnicas de decisión (ruteo, programación...)
6. Describir y defender el sistema de diseño particular propuesto en cuanto a sus aspectos económicos, de funcionamiento y las principales estrategias.

SEGUNDA PARTE:

Tras la visión global del problema de diseño de un sistema de distribución, tenemos identificados los problemas parciales que se plantean a la hora de diseñar un sistema de distribución física, y que a grandes rasgos se pueden clasificar en:

1. Demanda: Identificar y clasificar la demanda y su evolución.
2. Centros de producción y distribución: Localizar, cuantificar y dimensionar posibles almacenes intermedios, a partir del Almacén Central o del centro de producción principal.
3. Política de Stock: Establecer niveles adecuados de almacenaje y suministro para aportar una respuesta eficiente al cliente (niveles de stock, dimensiones de almacenes).
4. Transporte: Elegir sistemas de transporte adecuados (medios ajustados a las características del cliente y del producto) y definir rutas óptimas para ahorrar costes y llegar antes y mejor al cliente.
5. Sistema de Información: Disponer de información ágil, para evitar tiempos muertos desde el pedido del cliente a su disposición en todas las fases, desde la producción y preparación a la entrega, buscando la mejor calidad en la gestión integral

Estos problemas parciales son tratados abundantemente bajo puntos de vista: teórico (científico y docente) y experimental (empresas del sector). La complejidad de las metodologías de simulación y optimización que se han estudiado nos llevan a la necesidad de simplificar el modelo con el que se desarrolla la primera parte del proyecto.

Para explicar de un modo sencillo los métodos (heurística o algoritmos) de selección de localizaciones, asignaciones, rutas, etc... hemos solicitado a los autores de WLD una ligera adaptación del software WLD, tomando como base de diseño un mapa de Andalucía. Reducimos considerablemente el número de variables (regiones de venta, rutas, etc...). Con esta simplificación del modelo podremos aplicar algoritmos de decisión, entre ellos destacará la utilización de Solver (aplicación de Microsoft Excel), para la resolución del problema.

2. LA IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA

Es creciente la preocupación por el **costo total** de la distribución física, y los expertos creen que se pueden realizar grandes ahorros dentro de esta área. Las decisiones erróneas sobre la distribución física pueden provocar altos costos. Las grandes compañías utilizan, cada vez más, las modernas herramientas de decisión para coordinar los niveles de inventario, las formas de transporte y la localización de la plantas de fabricación, almacenes y puntos de distribución.

En esta etapa se pueden realizar los ahorros más importantes debido a que el intercambio se facilita por medio de las actividades que ayudan a almacenar, transportar, manipular y procesar pedidos de productos. La importancia de los costos de distribución justifica un especial tratamiento en su solución.

La distribución física implica la planeación, la instrumentación y el control del flujo físico de los materiales y los bienes terminados desde su punto de origen hasta los lugares de su utilización, con el fin de satisfacer las necesidades de los clientes a cambio de una ganancia. El mayor costo de la distribución física corresponde al transporte, seguido por el control de inventario, el almacenaje y la entrega de pedidos con servicios al cliente.

Además, la distribución física es no sólo un costo, sino una poderosa herramienta de creación de demanda. Las compañías pueden atraer más clientes otorgándoles mejor servicio o precios más bajos por medio de una mejor distribución física. En cambio, pierden clientes cuando no logran suministrarles los bienes a tiempo. Muchas compañías expresan su objetivo como: llevar los bienes adecuados, a los lugares adecuados en el momento adecuado, y al menor costo. **Por desgracia, ningún sistema de distribución física puede a la vez maximizar los servicios al cliente y minimizar los costos de distribución.**

Un nivel máximo de servicio al cliente implica grandes inventarios, el mejor medio de transporte y muchos almacenes intermedios, todo lo cual eleva los costos de distribución. Un mínimo de costos de distribución implica un medio de transporte barato, inventarios reducidos y pocos almacenes.

La compañía no puede dejar simplemente que cada gerente de distribución física limite sus propios costos. En efecto, los costos de transporte, almacenaje y procesamiento de pedidos interactúan, a menudo en forma inversa. Por ejemplo, bajos niveles de inventarios reducen este tipo de costos, pero también incrementan los que representan la falta de suministros, los pedidos atrasados, el papeleo, los ciclos de producción especial y los envíos por transporte rápido, que son más caros. Como los costos y actos de la distribución física implican fuertes transacciones, las decisiones deben tomarse sobre la base de la totalidad del sistema.

El **punto de partida** para el diseño del sistema es el estudio de lo que desean los consumidores y lo que ofrecen los competidores. Los primeros piden varias cosas de sus proveedores: entregas puntuales, inventarios lo bastante amplios, la capacidad de satisfacer necesidades de emergencia, un manejo cuidadoso de la mercancía, un buen servicio después de la venta, y la voluntad de tomar a devolución o canje los artículos defectuosos. Una compañía tiene que investigar la importancia de estos servicios para los consumidores.

Una compañía también debe **examinar los niveles de servicio de la competencia**, antes de fijar los suyos. Por lo general, querrá ofrecer al menos el mismo nivel que los demás. Pero su objetivo es maximizar las ganancias, no las ventas, y por ello debe analizar los costos que representa otorgar un mayor nivel de servicios. Así, algunas compañías ofrecen menos servicio, pero cobran un precio menor; en cambio, otras dan mayor servicio que sus competidores y cobran precios más altos para cubrir costos mayores.

En última instancia, **la compañía debe establecer objetivos** para la distribución física, con el fin de que éstos guíen la planificación. Así, podemos definir reglas de servicio como: entregar al menos el 95% de los pedidos dentro de los siete días siguientes, satisfacer el pedido del distribuidor con una exactitud del 99%, responder sus preguntas sobre la situación de su pedido en un máximo de dos horas y asegurarse de que la mercancía dañada durante el transporte no exceda del 2%.

Ya con un conjunto de objetivos, la compañía está lista para diseñar un sistema de distribución física que minimice el costo de alcanzarlos. Los puntos principales son los siguientes:

- ¿Cómo deben manejarse los pedidos? (procesamiento de pedidos)
- ¿Dónde deben situarse las existencias? (almacenamiento)
- ¿Qué cantidad debe tenerse a mano? (inventario)
- ¿Cómo deben enviarse los bienes? (transporte)

El nivel de servicio se determina principalmente por el número de días que pasan desde el momento en que se realiza el pedido hasta la entrega de mercancía. Este sistema reduce la proporción de pedidos atrasados en el nivel determinado. Son muchos otros los elementos que constituyen el nivel de servicio al cliente y algunos se mencionan a continuación.

- Disponibilidad de Productos
- Proporción de Existencia Agotada
- Frecuencia de las Entregas
- Seguridad de las Entregas

Cada empresa tiene una forma diferente de determinar su nivel de servicio al cliente, pero en muchas ocasiones es determinada con base en las pautas que marca la **competencia**. Es decir, si ofrece un nivel de servicio inferior, esta en peligro de perder a su clientela, al menos que en alguna forma haya un elemento compensador en su combinación de mercadotecnia. Al contrario, si ofrece un nivel de servicio mayor, la competencia puede también mejorar su nivel de servicio, lo que elevaría los costos para todas las empresas.

El valor que le dan los consumidores al servicio que se les presta es uno de los factores más difícil de medir dentro de sistema de canales de distribución pero con un poco de habilidad es posible hacerlo aunque el proceso de decisión pueda verse modificado.

Dentro de la gestión integral de la **DISTRIBUCIÓN FÍSICA** o **SUPPLY CHAIN MANAGEMENT** existen **decisiones a distintos niveles**, que aunque en algún caso se extralimiten del objetivo del presente proyecto, conviene recordar:

- **Estratégicas:** Qué sistema de distribución es el más adecuado para la empresa, según el producto, según la demanda, según sus objetivos generales, según su filosofía ... Deben tenerse especialmente en cuenta las grandes inversiones, derivadas de la demanda real y/o previsible en lo referente a adquisición de materia prima, producción y almacenamiento: cantidad, capacidad, ubicación y función de las instalaciones (plantas, almacenes...) así como todos los sistemas de gestión y control, movilidad, etc.. que puedan determinar el sistema a elegir en cada uno de los aspectos a diseñar, atendiendo a la demanda de las distintas regiones de ventas. Deben establecerse objetivos concretos.
- **Tácticas:** Cómo implantar y desarrollar el sistema elegido. Determinar el tamaño y el modo de transporte o la posible utilización de varios medios, tener en cuenta la posibilidad de otros posibles escenarios que pueden darse en función de variaciones de pedidos, precios en materias primas, en transportes, etc...
- **Operativas:** Determinar en detalle cual será el funcionamiento de cada uno de los procesos que formarán el sistema: Secuenciar y ordenar la producción, asignación, programación y presupuestación de rutas y tiempos de entrega, mantenimiento de inventarios, etc...

PARTE I

DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y SUMINISTRO.

"Llenroc Plastics Corporation"
MODELO WLD ORIGINAL



The Llenroc Plastics Corporation.

La Corporación Plásticos Llenroc es una compañía ficticia descrita en una serie de casos titulados "Plásticos Llenroc: Integración de la Dirección de Mercado de Sistemas de Fabricación y Distribución" por los Profesores John Muckstadt y Peter Jackson de la Universidad de Cornell. Se basa en una compañía verdadera pero muchos detalles de su descripción se han cambiado por razones educativas.



Prof. Peter Jackson

La Corporación de Plásticos Llenroc está posicionada como uno de los mayores fabricantes de **laminados decorativos de alta presión (HPDL)** en Estados Unidos. Estos laminados se encuentran en encimeras en cocinas y cuartos de baño, se utilizan como superficies de pared en hogares, en viviendas móviles, y en oficinas, y son utilizados por fabricantes de muebles para fabricar mesas, escritorios, y armarios para tanto para el uso de hogar como oficina. Estos laminados son muy populares debido a su precio bajo, la durabilidad y la gran variedad altas de colores y pautas. Los laminados son vendidos en hojas de varios tamaño uniformes (p.e. 4'x8', 5'x12') y tanto la producción agregada, los volúmenes de ventas e inventario se citan con frecuencia en términos de pies cuadrados (SqFt). Por ejemplo, las ventas recientes excedieron 160 millones pies cuadrados por año.

La POSICION COMPETITIVA

La Corporación de Plásticos Llenroc se sitúa detrás de otros dos mayores fabricantes de HPDL tanto en capacidad de ganancia como en servicio al cliente: Plásticos de Wilson y Formica. El propósito del ejercicio de la Ubicación de Almacén deberá volver a diseñar el sistema de la distribución para beneficiar significativamente la capacidad de ganancia o el servicio al cliente (o ambos) para competir más efectivamente.

El ACTUAL SISTEMA de DISTRIBUCION

El Almacén Central de Distribución se localiza adyacente al complejo industrial de la compañía en Nashville Tennessee. La compañía estudia la posibilidad de abrir Almacenes Regionales. Los Almacenes Regionales reúnen las órdenes de clientes en sus regiones de ventas, completan las órdenes fuera de inventario, y expide las remesas de órdenes vía "grandes portes" (grandes distancias, grandes cargas) para los puntos de ruptura (break bulk points) en cada región de ventas. En los puntos de "break bulk" o de interrupción, las órdenes se transfieren a portes pequeños para entregar a clientes individuales dentro de sus regiones de venta. Los EE.UU. continentales se han dividido en 22 regiones de ventas cada una con un punto de "break bulk". Cada región de ventas es servida exactamente por un Almacén Regional (o directamente del Almacén Central). Para las regiones que contienen un almacén, no necesitan transporte "long haul": el almacén ya actúa como un punto de ruptura.

El inventario de Almacenes Regionales es reabastecido desde el Almacén Central de acuerdo con las políticas de inventario establecidas en los Almacenes Regionales. Estas remesas de reposiciones se envían directamente del Almacén Central a los Almacenes Regionales vía "grandes portes". El inventario en el Almacén Central es abastecido de nuevo por el complejo industrial adyacente.

3. PRINCIPALES COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

Identificaremos en primer lugar los datos de partida, conocidos, a partir de los cuales hemos de diseñar el modelo; en segundo lugar indicaremos cuales son aquellos elementos de decisión que permitirán seleccionar criterios a lo largo del proceso de diseño y en tercer lugar definiremos los componentes solicitados, es decir, las resultantes que se obtienen.

3.1. Datos de partida.

El propósito del ejercicio es rediseñar el sistema de la distribución de Llenroc Plastics Corporation para beneficiar significativamente la capacidad de beneficio o el servicio al cliente (o ambos) para competir más efectivamente con las otras empresas del sector HPDL. Conocemos por tanto que es necesario buscar otros modelos que tendrán que superar en prestaciones al actual. Para realizar de este estudio se consideran conocidos o no influyen:

Aspectos financieros o relacionados con la producción:

- Los tiempos básicos de producción no influyen.
- El precio coste de fabricación y el precio de venta del producto (por pie cuadrado).
- Por tanto, también es constante el beneficio bruto (Gross Profit).
- El coste financiero de stocks, es el 20% del valor inventariado.
- Días para Pick & pack. El número medio de días requeridos en cualquier almacén a procesar un pedido según disponibilidad del inventario (3 días).

Aspectos relacionados con el sistema de distribución:

- La localización del almacén central en Nashville, Tennessee, junto a la factoría.
- La división de regiones de ventas se mantendrá, así como la ubicación de los puntos de ruptura de distribución (BBP). Por tanto, las distancias entre almacenes se mantienen constantes en el modelo y no se alterarán aunque esta opción sí la permite el software WLD.
- Las regiones de ventas donde se pueden ubicar almacenes regionales.
- Previsión de demanda periódica de cada región de ventas y por tanto la total, que anualmente representa 161.464.122 SqFt (pies cuadrados).
- Capacidad de carga por camión (115.000 SqFt)
- Precio por milla a carga llena en transporte "Long Haul" (\$1,09).
- El coste de distribución desde BBP a clientes mediante distribución "short haul" (constante, valor total para todos los modelos= \$2.625.463).
- Coste por transacción en almacén.
- La Función del coste de capacidad de almacén.

Utilización de camión - en Ruta (Truck Utilization -on Route): Es el porcentaje de carga completa de camión usada por (shipment) cada envío o embarque en esta ruta se calcula como: cantidad enviada por viaje (SqFt) respecto a la capacidad de carga completa de camión (constante=115.000 SqFt) multiplicado por 100%.

La frecuencias de camiones “long haul” en cada ruta o viajes por Semana -en la Ruta- (Trips per Week -on Route-) es el número medio de viajes por semana planeados para esta ruta. Una variable de decisión que afecta a la utilización de camiones, el costo de transporte "Long Haul" hasta BBP, y a la espera media de cliente.

3.2.4. Capacidad de cada Almacén.

La capacidad del almacén (Warehouse Capacity) quedará definida por el número máximo (SqFt) de stock que se pueden tener en el almacén. Es una variable de la decisión que determinará el costo de capacidad de almacén.

Se usa la variable **Volumen semanal (por Almacén)** que indica el volumen medio (SqFt) servidos por este Almacén Regional cada semana, y se calcula como: la suma total de demanda anual de las regiones de ventas asignadas a este almacén (SqFt) dividida por el número de semanas por año

Otra variable utilizada es la **utilización de capacidad de almacén (Capacity Utilization):** La fracción de la capacidad de almacén que es utilizada por stock bajo el plan actual del inventario o proporción de stock totales por capacidad de este almacén multiplicado por 100%.

3.2.5. Frecuencia de camiones “long haul” desde central a almacenes regionales.

La frecuencia de camiones desde Central (Frequency of Trucks from Central) queda definida como número medio de camiones enviados por semana desde el Almacén Central a Almacén Regional. Una variable de la decisión que determina claramente el tiempo y costo de transporte "long haul" desde Central.

El número medio de semanas entre embarques desde Almacén Central a cada Almacén Regional es el inverso del número de camiones por semana desde central a cada almacén.

3.2.6. Política de inventario:

Las políticas o estrategias de gestión de inventario tienen por objeto asegurar que no produzcan sobrecargas en la capacidad de ninguno de los almacenes según la frecuencia de fletes o embarques previstos, asegurando plazos mínimos de entrega del pedido al cliente.

Stock total -por Almacén- (Total Stock for Warehouse): se define como el sumatorio de inventario de categorías (A/B/C) de stock de ciclo y stock de seguridad para este almacén. Determinará las necesidades de capacidad de cada almacén.

Los tipos de stock:

- **Stock de ciclo.** En la mayoría de las ocasiones, no tiene sentido producir o comprar artículos a medida que van siendo demandados. En estos casos, se lanza una orden de pedido de un tamaño superior a las necesidades del momento, dando así lugar a un inventario que es consumido a lo largo del tiempo. Este inventario se presenta periódicamente, dando lugar a una pauta de comportamiento cíclica.
- **Stock en tránsito.** Se denomina así a los artículos que están circulando entre las diferentes fases de producción y de distribución, como, por ejemplo, entre el almacén de productos terminados y un almacén regional de distribución, o entre distintas fases del montaje.
- **Stock de seguridad.** Constituidos como protección frente a la incertidumbre de la demanda y del plazo de entrega del pedido. Evitando, dentro de lo posible, la inexistencia de inventarios en un momento dado.
- **Inventarios estacionales.** En este proyecto no se consideran, ya que su objeto es hacer frente a un aumento esperado de las ventas.

Tipo	Función	Ventajas
Inventarios de ciclo	Desacoplar operaciones del sistema productivo y el consumidor del suministrador	Descuentos por cantidad Reducción de costes de preparación, manejo de materiales, trabajos administrativos, etc.
Stocks de seguridad	Variaciones en el plazo de entrega de pedido. Variaciones no previstas de la demanda.	Aumento de las ventas. Reducción de costes de transporte, sustitución de productos de alto valor, fallos en los servicios a los clientes, horas extras, etc.
Inventarios en tránsito	"Llenar" el sistema de distribución física para hacer posible su funcionamiento.	Reducción de costes de transportes.
Inventarios estacionales (no afecta directamente a la práctica)	Laminar y distribuir en el tiempo la producción para hacer frente a las ventas estacionales o promociones. Protección frente a incrementos de precios de materias primas. Prevención de interrupciones en el suministro.	Reducción de costes de contratación, seguros sociales, etc. Reducción de costes de materiales.

Tabla 3.2.6-1 Tipos de inventario

Evidentemente, en la mayoría de las ocasiones, un mismo artículo presentará situaciones de inventarios que corresponden a varias de estas categorías funcionales, puesto que un inventario de ciclo también puede serlo estacional, y además de seguridad, etc. Lo importante es saber con la mayor exactitud posible y a un coste razonable, cuánto vale la globalidad de su almacén. Para ello, debemos establecer un control de sus Stocks.

A continuación definiremos los conceptos relacionados con los tipos de stock que intervienen en el sistema objeto del presente proyecto:

3.2.6.1. Stock de ciclo (Cycle Stock)

El valor monetario del inventario destinado a la política de órdenes periódicas. Se calcula como: la suma del importe de stock de ciclo, del total de categorías de inventario (A/B/C). El stock de ciclo para una categoría de inventario es la mitad del inventario consumido durante un ciclo de pedido para esta categoría.

El inventario consumido durante un ciclo de pedido es igual al volumen (demanda anual) para ese almacén (SqFt) multiplicado por la fracción de ventas de esa categoría, dividido por el número de semanas por año (52) y multiplicado por las semanas de suministro de stock de ciclo para esa categoría en ese almacén. El valor de ese inventario es el número de pies cuadrados multiplicados por el costo de fabricación por pie cuadrado.

El número de **semanas para suministro de stock de ciclo (Cycle Stock Weeks of Supply)** desde Almacén Central cada vez que se produce una orden es una variable de decisión para cada categoría de stock (A/B/C) y determina la cantidad de stock de ciclo soportado en este Almacén Regional. Las semanas de suministro de stock de ciclo no pueden ser menor que el inverso de la Frecuencia de Camiones de Central.

3.2.6.2. Stock de tránsito desde Central (Pipeline Stock from Central)

El valor monetario de la cantidad media del inventario que está en tránsito desde Almacén Central a los Almacenes Regionales en cualquier momento.

Se calcula como: la suma total de volumen de cada almacén (demanda anual de regiones de venta servidas desde este almacén) (SqFt) dividido por el número de semanas por año (52), multiplicado por el costo de fabricación por pie cuadrado, y multiplicado por el tiempo de viajes desde almacén central a ese almacén. El tiempo del viaje se calcula como la distancia desde almacén central al almacén regional dividido por el producto de la velocidad media del transporte "long haul" (en millas por hora), el número de horas de conductor por día, y el número de días por semana.

3.2.6.3. Stock de tránsito a BBP (Pipeline Stock to BBP)

Es el valor monetario de la cantidad media del inventario que está en tránsito desde los Almacenes Regionales a los puntos de distribución BBP en cualquier momento. Se calcula como: la suma (por cada ruta) de los stock totales de tránsito asociados con esa ruta. Los stock totales de tránsito asociados a una ruta son la suma del total de stock de tránsito asociados en cada parada en la ruta.

El stock de tránsito asociado con una parada es la demanda semanal asignadas de esa región a esa ruta (SqFt) multiplicados por el costo de fabricación (x SqFt), y multiplicado por el tiempo del viaje desde almacén a esa parada por esa ruta.

3.2.6.4. Stock de seguridad (Safety Stock)

El valor monetario del inventario que se espera entregar en mano siempre que llegan pedidos de reabastecimiento. Es decir, es la media de nivel de inventario aún en sistema en el punto más bajo del ciclo de pedido. Se calcula para cada almacén: la suma total de stock de seguridad para cada una de las tres categorías (A/B/C).

El stock de seguridad por almacén y categorías (una o varias) presenta una función especial que se analiza en el siguiente punto, y que es dependiente de:

- La tasa "objetivo de llenado" o "fill rate",
- El tiempo esperado para reabastecer este almacén,
- Semanas de suministro de stock de ciclo para cada categoría en ese almacén
- Volumen de demanda semanal (en pies cuadrados) para ese almacén.

La **Función de Stock de seguridad (Safety Stock Function)**, es una función confeccionada especialmente a medida para la Corporación de Plásticos de Llenroc para estimar la cantidad de stock de seguridad, en valor monetario, requerido. Depende de la categoría del inventario (A/B/C), la tasa "objetivo de llenado", del tiempo de reabastecimiento, de las semanas de suministro de stock de ciclo y del volumen semanal de demanda (SqFt). La función muestra el siguiente comportamiento:

- Incremento de la tasa "objetivo de llenado"
- Incremento de tiempo de reabastecimiento
- Decremento de semanas de suministro de stock de ciclo
- Incremento de volumen semanal de demanda

La función trabaja calculando el stock de seguridad requerido para una muestra de productos de la categoría apropiada del inventario. La media y la varianza de demanda para cada parte es una combinación lineal de la media (conocida) y de la varianza de cada parte en un almacén grande y en otro pequeño.

3.2.6.5. La tasa de llenado objetivo (Target Fill Rate)

Es el porcentaje medio de unidades de pedidos que son satisfechos inmediatamente en mano desde inventario. También, la probabilidad constante de no encontrar el artículo en el estado de backorder. Una variable de decisión para cada categoría de stock (A/B/C) que afecta a la cantidad de stock de seguridad tenida en este almacén. Afecta también el tiempo esperado de reabastecimiento para cada región de ventas servida por este almacén (es un componente del tiempo de espera de cliente).

Los plazos en la distribución y gestión de inventarios son determinantes para que un modelo se pueda considerar válido en tiempo de servir las órdenes de pedido de los clientes. Analizaremos en el apartado 3.3.2. Servicio al Cliente los tiempos medios de entregas desde la orden de pedido del cliente.

3.3. Resultado del cálculo.

Los resultados generales según el diseño, serán objeto de sucesivas evaluaciones para su depuración iterativa. Los valores generales son:

- En términos económicos: **Capacidad de generar mayor beneficio económico.**
- En términos funcionales: **Menor tiempo de espera de clientes (servicio).**

3.3.1. Capacidad de beneficio económico (Beneficios antes de impuestos).

El resultado económico de cada uno de los modelos diseñados se presenta bajo la siguiente estructura:

Interpretación	Concepto (en Inglés)	Concepto (en Español)
1 SR	Sales Revenue	Ingresos por ventas
2 CGS	CGS @ \$0,31/SqFt	Coste de bienes vendidos
3 GP=SR-CGS	Gross Profit	Beneficio bruto
4 w1	Warehouse Capacity Cost	Coste de capacidad de almacenes
5 w2	Warehouse Transaction Cost	Coste de transacción de almacenes
6 t1	Long Haul from Central	Transporte Long-Haul desde central
7 t2	Long Haul to BBP	Transporte Long-Haul hasta BBP
8 t3	Short Haul to Customers	Transporte Short-Haul hasta clientes
9 T=t1+t2+t3	Total Transportation Cost	Total coste de Transporte
10 s1	Pipeline Stock from Central	Stock de tránsito desde central
11 s2	Pipeline Stock to BBP	Stock de tránsito hasta BBP
12 s3	Cycle Stock	Stock de ciclo
13 s4	Safety Stock	Stock de seguridad
14 S=s1+s2+s3+s4	Total Inventory Investment	Total inversión en Stock
15 IFC=20% de S	Investment Finance Cost @ 20,0%	Costes financieros de inversión
16 D=w1+w2+T+IFC	Total Distribution System Cost	Coste total sistema de distribución
17 B=GP-D	Net Income Before Tax	Ingresos netos (Beneficios) antes de Impuestos

Tabla 3.3.1-1 Estructura de costes e ingresos

A) En primer lugar se analiza el Beneficio bruto (Gross Profit):

1. **Beneficio bruto (Gross Profit):** El beneficio bruto anual de ventas es una constante..

Beneficio Bruto= Ingreso por ventas - Costo de Bienes Vendidos = \$33.754.204

2. **Ingresos por ventas (Sales Revenue):** Ingreso bruto nacional y anual de ventas. Se calcula como: el volumen total de demanda anual (SqFt) de todas regiones de ventas multiplicadas por el precio medio por pie cuadrado (constante).

Demanda total anual = 161.464.122 SqFt → Precio medio SqFt = 0,5220508 \$/SqFt
→ Ingresos por ventas = \$84.292.473

3. **Costo de Bienes Vendidos (CGS) (Cost of Goods Sold):** Costo anual de bienes vendidos. Se calcula como: el volumen total de demanda anual (SqFt) a través de todas regiones de ventas multiplicadas por el promedio de coste de fabricación por pie cuadrado (constante).

Demanda total anual = 161.464.122 SqFt → Coste medio SqFt = 0,313 \$/SqFt
→ Costo de Bienes Vendidos = \$50.538.269

B) Posteriormente se analizan los costes derivados de almacenaje:

4. **Costo de Capacidad del almacén (Warehouse Capacity Cost):** Parte de los costes operativos de almacén determinados por el tamaño (capacidad de almacén). El coste operativo de almacén depende del número de transacciones procesadas.

El costo de la capacidad de un almacén es una función cóncava lineal, función de la capacidad de almacén. Los parámetros de la función son constantes. Como se puede observar el coste anual de capacidad es elevado hasta una capacidad de 7 millones SqFt. A partir de esta capacidad, el coste se suaviza notablemente. Ello da una idea de valor de economía de escala a la hora de diseñar los almacenes necesarios.

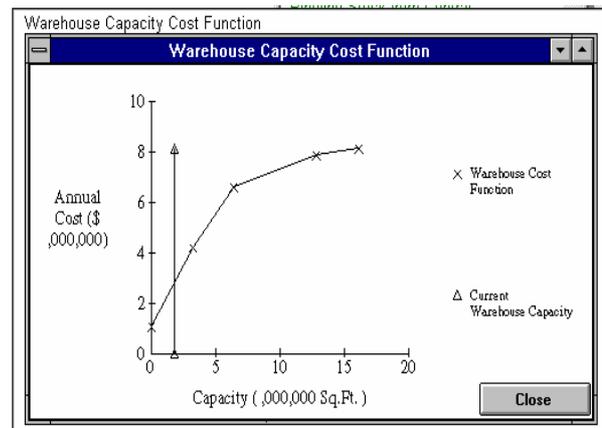


Ilustración 3.3.1-1 Función de costes de capacidad de almacenes.

5. **Costo de Transacción de almacén (Warehouse Transaction Cost):** Porcentaje de coste operativo anual de almacén por el número de transacciones procesadas. El número de transacciones es marcado, en cambio, por las semanas de ciclo de stock decidido. El balance de coste operativo de almacén es marcado por el tamaño del almacén (la capacidad de almacén). Se calcula como: Número anual de transacciones multiplicadas por el costo por transacción (constante).

Número anual de Transacciones en un Almacén (Annual No. of Transactions) es función de la política de suministro de stock de ciclo. Se calcula como la suma de transacciones anuales de todas las categorías de inventario (A/B/C). El número anual de transacciones para una categoría del inventario es el mínimo entre (1) el inverso de semanas de suministro de stock de ciclo para esa categoría multiplicada por 52 (número de semanas por año), y (2) la proporción de la demanda anual para ese almacén multiplicado por la fracción media de ventas en esa categoría (constante) al tamaño medio de órdenes o pedidos para esa categoría (constante).

Debe observarse que la distinción entre costos de capacidad y costos de transacciones viene de un modelo económico de comportamiento de costes ABC: "Activity Based Costing". Los registros contables y sistemas financieros pueden tratar la organización de costes de forma diferente: alquileres, gastos de personal, depreciación, etc...

C) A continuación se analizan los costes derivados del transporte:

6. **Costo de Transporte Largo desde Central (Long Haul Trans Cost from Central):** El costo anual medio de envío del producto desde el Almacén Central a los Almacenes Regionales o directamente a las BBP. Se calcula como la suma total del costo del transporte "Long Haul" desde central a ese almacén. El costo del transporte "Long Haul" desde almacén central a cierto almacén se computa como la frecuencia de camiones de central multiplicado por el número de semanas por año multiplicado por la distancia del almacén central al almacén regional multiplicado por el costo del transporte "Long Haul" por milla a carga completa (constante = \$1,09).

7. **Costo de Transporte Largo hasta BBP (Long Haul Trans Cost to BBP):** El costo anual medio de transportar el producto desde los almacenes regionales hasta los puntos (BBP) en sus regiones asignadas de ventas. Este costo es una función de las rutas creadas para conectar los almacenes con sus regiones de ventas. Se calcula como: la suma total de todas las rutas "long haul". El costo de transporte de la ruta "Long Haul" es el número de viajes por semana para la ruta multiplicado por el número de semanas por año multiplicado por la longitud de la ruta en millas multiplicadas por el costo del transporte "Long Haul" por milla a carga completa (constante = \$1,09).

8. **Costo de Transporte Corto (Short Haul Transportation Cost):** El costo anual medio del envío el producto desde el BBP a los clientes individuales en cada región de ventas. No es afectado por ninguna decisión en el modelo y es incluido sólo para completar el estado de ingresos. Se calcula como: la suma en total regiones del volumen (demanda anual SqFt) multiplicados por la tasa "short haul" por pie cuadrado para que la región de ventas.

9. **Costo Total de transporte (Transportation Cost):** El costo anual total de desplazamiento del producto desde Almacén Central a los clientes finales. Se calcula como el sumatorio de los costos anteriores: Transporte "Long Haul" desde Central, Costo de transporte "Long Haul" hasta BBP, y Costo del Transporte "Short Haul".

D) Seguidamente se valoran los stocks, para calcular sus costes financieros.

10. **Stock de tránsito desde Central (Pipeline Stock from Central)**

11. **Stock de tránsito a BBP (Pipeline Stock to BBP)**

12. **Stock de seguridad (Safety Stock)**

13. **Stock de ciclo (Cycle Stock)**

14. **Inversión en Inventario (Inventory Investment):** Cantidad total de capital en forma de inventarios o stock en el sistema de la distribución. Determina el coste financiero de inventario, componente del costo de sistema de distribución. Se calcula como: la Suma de Stock de tránsito (desde central y hasta BBP), stock de ciclo, y de Seguridad.

15. **Coste Financiero de Inversión (Investment Finance Cost):** El coste financiero anual de la inversión total en inventario. Se calcula como: inversión total en inventario multiplicada por tipo de interés (constante = 20% sobre valor de Inversión inventario).

E) A partir de los resultados de los apartados B, C y D, se calcula el coste total de distribución.

16. **Costo del Sistema de la distribución (Distribution System Cost):** El costo anual de operación del sistema de distribución. Se calcula como: la suma del costo de capacidad de almacén, del costo de transacción de almacén, del costo del transporte, y del costo financiero de inventario.

F) Finalmente se calcula el parámetro económico buscado: **Beneficio (a.i.):**

17. **Ingresos netos antes de Impuestos -B.A.I.I.- (Net Income Before Tax, Annual Net Income, Profit).** Los ingresos anuales estimados para la corporación antes de impuestos.

Se calcula como:

Beneficio bruto (constante) - Costo de distribución (variable según modelo)

Minimizar el costo del sistema de distribución es el <u>objetivo económico</u> de este proyecto (y de cualquier empresa), lo cual suele ser <u>contrapuesto</u> al otro requerimiento: ofrecer un <u>mejor servicio</u> al cliente, entendido como <u>minimizar el plazo de espera</u> desde pedido.

3.3.2. Servicio al cliente.

3.3.2.1. Tiempo medio de satisfacción de encargos en BBP.

El valor resultante final es la **espera media de Clientes (Average Customer Wait)** que se define como el tiempo medio que un cliente espera desde la orden de pedido a la entrega en el BBP más cercano. La pantalla de detalle de resultantes relacionadas con la espera media del cliente es la siguiente:

Warehouse Location Designer - [Customer Service Report]							
Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BBP)
1	Washington	1.47 %	0.47	3.00	3.50	2.26	9.22
2	No California	4.01 %	0.47	3.00	3.50	0.84	7.81
3	So California	6.02 %	0.47	3.00	0.00	0.00	3.47
4	Montana	0.21 %	0.47	3.00	3.50	3.39	10.36
5	Colorado	0.95 %	0.47	3.00	3.50	4.34	11.31
6	Arizona	0.17 %	0.47	3.00	3.50	5.32	12.29
7	Minnesota	2.33 %	1.15	3.00	1.17	1.90	7.22
8	Kansas	0.98 %	1.15	3.00	3.50	1.77	9.42
9	Texas	3.95 %	1.15	3.00	3.50	3.03	10.69
10	Michigan	13.16 %	1.15	3.00	1.75	1.14	7.04
11	Missouri	1.74 %	1.15	3.00	3.50	4.47	12.13
12	Louisiana	1.48 %	1.15	3.00	3.50	3.98	11.24
13	Indiana	19.16 %	1.15	3.00	1.17	0.99	6.31
14	Tennessee	3.14 %	1.15	3.00	0.00	0.00	4.15
15	Georgia	4.67 %	1.15	3.00	2.33	0.54	7.03
16	Florida	12.27 %	1.15	3.00	1.75	1.33	7.24
17	New England	1.03 %	1.15	3.00	1.17	2.33	7.65
18	New York	9.46 %	1.15	3.00	1.17	2.80	8.12
19	Pennsylvania	4.69 %	1.15	3.00	1.17	3.13	8.45
20	Virginia	2.46 %	1.15	3.00	1.17	3.80	9.12
21	Carolina	5.61 %	1.15	3.00	2.33	1.21	7.69
22	Ohio	2.24 %	1.15	3.00	1.17	0.96	5.98
	Wild Avg	100.00 %	1.07	3.00	1.65	1.54	7.26

Tabla 3.3.2.1-1 Ejemplo de tabla de detalle de tiempos de espera de clientes o regiones de venta.

En ella se indican los siguientes conceptos y resultantes:

1. Porcentaje de demanda asignada a región de ventas.

2. Días esperados de Reabastecimiento (Expected Replenishment Days) o tiempo esperado en días para adquirir el inventario en un Almacén Regional para completar una orden típica de cliente. Si la tasa de llenado fuera 100%, entonces todas las ordenes serían completadas inmediatamente de inventario en almacén y el tiempo de adquisición de inventario sería cero.

Si todas las tasas fueran cero entonces el tiempo esperado de reabastecimiento sería la suma del plazo de espera de la producción y el tiempo del transporte de Central al Almacén Regional. Con tasas no igual a cero, el tiempo esperado de reabastecimiento estará entre estos dos extremos.

Se calcula como: (1) uno menos la media ponderada de tasa de llenado completo del almacén regional multiplicado por la suma del tiempo del viaje del almacén central al almacén regional y el producto de uno menos la media ponderada de tasa de llenado en el almacén central con el plazo de espera de la producción. Los porcentajes son la fracción de la demanda en cada categoría del inventario (A/B/C).

El **Plazo de espera estimado de reabastecimiento** -para el Almacén- (**Estimated Resupply Lead Time**) es el plazo medio, en semanas, que este Almacén Regional debe esperar para recibir las ordenes de reabastecimiento desde Almacén Central.

Se calcula como la suma del número de semanas hasta el próximo camión de central, el tiempo de viaje desde almacén central, y del tiempo del "pick and pack" en el almacén central. El tiempo del viaje se calcula como la distancia entre la central y este almacén dividido por el producto de la velocidad de camión "Long Haul", el número de horas de conductor por día, y por el número de días por la semana.

3. Preparación del encargo, días de "pick & pack" (Pick and Pack Days). Como se ha indicado anteriormente, es una constante considerada en el modelo con valor: 3 días.

4. Días Hasta Próximo Camión en Región de Venta (Days Until Next Truck for Sales Region). El número de días que una orden de cliente debe esperar después que se recibe en el Almacén Regional hasta que se manda un camión desde almacén a esta Región de Ventas. Se calcula como: la suma ponderada de todas las rutas que incluye esta región de ventas de 1 dividido por el producto del número de viajes por semana en esta ruta y el

número de días por la semana. Los pesos son la fracción de la demanda en esta región de ventas que es asignada a esta ruta.

5. **Días Hasta Próximo Camión -en la Ruta- (Days Until Next Truck - on Route).** Es el inverso de nº de viajes por semana que utiliza esta ruta multiplicada por el número de días por la semana.

6. **Días de transporte "Long Haul" - por Región de ventas (Long Haul Days - for Sales Region).** El número medio de días requeridos para transportar un orden de cliente del Almacén Regional al "break bulk point" en esta Región de Ventas. Se calcula como: la suma ponderada total de longitudes de rutas que incluye esta región de ventas desde almacén a esta región dividida por el producto de la velocidad de camión y el número de horas de conductor por día. Los pesos son la fracción de demanda en esta región de ventas que es asignada a esta ruta.

7. **Espera total hasta llegada del pedido a BBP - por Región de ventas (Total Wait to BBP for Sales Region).** Es el tiempo medio requerido para procesar una orden de cliente en esta Región de Ventas y su envío hasta el punto (BBP) de en esta región. Se calcula como: la suma del tiempo esperado de reabastecimiento, los días del "pick and pack", el número de días hasta el próximo camión y los días "long haul" para el BBP para esta región.

3.3.2.2. Nivel de servicio al cliente. Disponibilidad de producto.

Además del tiempo de espera media de Clientes (**Average Customer Wait**) se consideran los niveles de **disponibilidad de los distintos elementos almacenados**. Estos elementos son clasificados en grupos A, B y C, siguiendo una distribución de Pareto. Una disponibilidad inmediata alta implica elevado número de unidades en stock, y por ello, mayores superficies de almacén y número de viajes. Es decir, se vuelve a repetir la divergencia servicio - beneficio.

3.3.2.3. Beneficios de una respuesta rápida desde fabricación a distribución.

La fabricación del producto ha de estar planificada de acuerdo con el consumo demandado y las políticas de inventario previstas, especialmente en stock de seguridad.

Evitar cuellos de botella en producción ante determinada punta de demanda nos supondrá, aparte de dejar en buen lugar el nombre de la empresa y mantener el cliente, evitar costes innecesarios.

También, el disponer de una respuesta rápida frente a nuestros clientes (y proveedores), pueden permitir la aparición de nuevas oportunidades, que no detectaríamos si estuviéramos atentos únicamente a las peticiones de nuestros clientes, por ello los responsables del aprovisionamiento pasan a ventas la información sobre nuevos productos en el mercado de proveedores, y es en esta fase cuando introducimos el componente **investigación y desarrollo (I+D)** adaptando los productos de nuestros proveedores a nuestros clientes.

El **stock juega un papel fundamental**, permitiéndonos ofrecer al mercado nuevos productos que puedan competir en cantidad, calidad y que estén en el mercado en el momento preciso (plazo de entrega), sin que el coste para la empresa supere sus expectativas de rentabilidad. Por tanto, podemos concretar que los beneficios que ofrece una rápida respuesta desde fabricación a la distribución son, entre otros:

- **Reducción de costes de adquisición y de producción:** Uno de los objetivos que cumplen los inventarios es abaratar el producto, tanto en costes de adquisición como de producción.

Normalmente, la forma óptima de producción es hacerlo por lotes, es decir, fabricar un gran lote de unidades durante un periodo corto de tiempo y no volver a fabricar, hasta que esté casi agotado (stock de seguridad). Ello nos permite utilizar la misma maquinaria para elaborar distintos productos, lo cual en muchos casos resulta muy barato, al distribuirse entre todos ellos los costes fijos de las máquinas, con tiempos mínimos de parada, cambios, ajustes, etc... evitando la constante "multitarea" de los mismos recursos.

En las adquisiciones de materia prima, también puede ser muy económico comprar por grandes lotes, con el fin de aprovecharnos de los descuentos comerciales por tamaño de pedido, repartir entre el mayor número de unidades los costes de transporte, pero todo ello implica que la fabricación por lotes precisa

de grandes inventarios de productos terminados. Y en la adquisición por lotes también son necesarios grandes almacenes de materias primas.

Otro caso en el que la disposición de grandes inventarios abarata la adquisición de primeras materias y la producción, cuando se procede a comprar grandes cantidades de aquellas cuando su precio se reduce transitoriamente.

- **Anticipar las variaciones previstas de la oferta y la demanda.** Existen ocasiones en la que pueden preverse las variaciones de la oferta y la demanda. Por ejemplo, los editores de libros se anticipan a la escasez que provoca una huelga de imprentas, acumulando libros en su inventario, en este caso estaríamos ante una variación prevista de la oferta.

También puede preverse que una amplia campaña de promoción de uno de los productos, va a elevar la demanda del mismo (mes de septiembre, campaña escolar), en este caso para anticiparse a la demanda la empresa acumula productos terminados en sus almacenes.

Otro tanto ocurre cuando la materia prima o los productos terminados, están sometidos a variaciones estacionales. Esta anticipación de la oferta y de la demanda, se denomina stock estacionario.

Hay un factor clave a la hora de determinar el sistema de gestión más adecuado a la empresa, será la determinación del tipo de demanda del producto que básicamente agruparemos en dos:

- ❖ Demanda Determinista
- ❖ No Determinista o Probabilística.

- **Facilitar el transporte y la distribución del producto:** Aunque la demanda de los consumidores finales, sea perfectamente previsible, generalmente los productos han de ser transportados desde los lugares de fabricación hasta los de consumo, y el transporte no puede efectuarse de forma continua. Por ello la producción se almacena para ser transportada en lotes. Otro tanto sucede en el proceso de elaboración de algunos productos, que se van completando en sucesivas fases realizadas en puntos más o menos distantes entre sí.

- **Aumentar el nivel de servicio al cliente:** entendido como el porcentaje de clientes que reciben sus pedidos en un plazo de días, en función del número de días transcurridos hasta la entrega de los pedidos, también puede entenderse como el porcentaje de referencias suministradas frente al total de referencias pedidas.

Habitualmente el mejor servicio al cliente requiere adoptar medidas tales como grandes niveles de stocks o numerosos almacenes que acerquen nuestra oferta de productos a los mercados o incluso sistemas de transporte de superior calidad, lo cual eleva considerablemente el coste de la distribución. Una de las conclusiones a la que han llegado todos los especialistas en la materia, es que la inversión en stocks aumenta exponencialmente, conforme el nivel de servicio se va acercando al máximo.



Ilustración 3.3.2.3-1 Control de etiquetado.

Tabla 3.3.2.3-1	Valoración de Stock de seguridad	Días de espera
Modelo FER05	\$175.396	7,26
Modelo FER06	\$577.583	6,67
Incrementar el nivel de servicio un		1%
Supone incrementar el stock en un		41%

Normalmente, incrementar un 5% el nivel de servicio en una empresa supone el al menos aumentar la inversión en stocks en un 35%. Es evidente que los aumentos en el nivel de servicio se transforman en una mayor clientela y por tanto en un mayor volumen de ventas, pero no sabemos si los beneficios van a aumentar lo suficiente para justificar esa mayor inversión.

En nuestro estudio queda clara prueba de ello, comparando dos modelos similares entre sí, salvo en las previsiones de stock de seguridad:

No es menos cierto que el nivel de servicio de una empresa se establece también en función del nivel de servicio de la competencia, ya que si no, se corre el riesgo de perder clientes, salvo que se ofrezca algún elemento compensador o diferenciador.

La decisión de una empresa respecto del nivel de servicio preste a sus clientes, debe basarse en:

1. Un análisis de sus potenciales clientes.
2. Un análisis de su competencia en el mercado objetivo.
3. La reacción de la competencia ante cambios en el nivel de servicio.

Un ligero aumento en el nivel de servicio, puede representar beneficios en cuanto aumenta el volumen de clientes, mientras que otro ligero aumento puede suponer un notable incremento de costos y un incremento de beneficios menor, incluso pérdidas.

Aumentar el nivel de servicio significa también disminuir costes de ruptura de stock o de demanda insatisfecha:

- **Reducir costes de ruptura de stock o demanda insatisfecha.** Es el coste en el que se incurre cuando no se pueden atender a la demanda debido a que cuando esta se presenta, no hay existencias en el almacén, situación que se denomina rotura de stock. Se pueden distinguir dos casos de demanda insatisfecha:

- **La demanda insatisfecha diferida:** que se produce cuando los pedidos de clientes llegados en un momento en el que no hay existencias son retrasados para ser atendidos en el primer momento en que haya existencias en el almacén, el coste asociado a esta demanda lo denominaremos coste de carencia, habitualmente es muy difícil determinarlo con precisión en la práctica, ya que algunos de los conceptos de coste implicados son muy difíciles de medir. Así, el coste asociado al mal servicio a los clientes, no es cuantificable fácilmente, como no lo es el coste de pérdida de imagen, ni el correspondiente al trabajo administrativo extra originado por una orden retrasada.
- **La demanda insatisfecha perdida:** que se produce cuando los pedidos de clientes llegados en un momento en el que no hay existencias, se pierden definitivamente, el coste asociado a esta demanda se denomina coste de rotura, que definiríamos como el coste de no atender a la demanda y por tanto perderla.

La determinación del coste de rotura, presenta dificultades análogas a las ya expuestas para el coste de carencia, siendo la más importante del coste de rotura el intangible y de difícil cuantificación que el cliente se pase a la competencia, con la consiguiente pérdida de ventas futuras y pérdida de imagen.

A la hora de competir en el mercado, las empresas han de considerar otros aspectos relevantes, relacionados con el servicio (entendido como tiempo de reacción desde que se produce el pedido hasta su entrega), tales como las preferencias en determinados envíos:

- JIT (just in time). Envíos más frecuentes y de menor volumen
- Preferencia en el orden de los envíos o rutas alternativas, de “emergencia”.
- Características especiales de cada región de ventas.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO

El proceso empleado para diseñar el sistema de distribución de LPC está muy orientado, casi predeterminado por el software WLD, estos son los pasos seguidos:

- a) Decidir el número de almacenes regionales y ubicarlos
- b) Asignar las regiones de ventas a estos almacenes regionales.
- c) Establecer rutas que cubran todas las regiones de venta, es decir, distribuir la demanda de las distintas regiones de venta desde almacenes regionales o desde el almacén central.
- d) Determinar, en función de la demanda asignada a rutas (que podrá englobar una o varias regiones de venta), el número de camiones que cubrirá cada ruta.
- e) Decidir la capacidad de cada uno de los almacenes, tanto del central como de los regionales, para cubrir su demanda asignada y las necesidades de stock según la política de inventarios prevista (repartiendo el inventario de seguridad entre las 3 categorías previstas A, B y C), y según la frecuencia de camiones desde central a dichos almacenes.
- f) A la vista de los resultados de cada uno de los modelos, establecer cual ofrece mejor prestación a la empresa y al cliente (combinación coste / servicio).

En cada una de estas decisiones deben analizarse factores diferentes para ir eligiendo la solución más adecuada. De los resultados finales o intermedios de cada uno de los modelos estudiados, se obtendrá información o conclusiones de comportamiento que podrán ir corrigiendo siguientes modelos propuestos (feed back).

4.1. Paso 1: Determinar número de almacenes y su localización.

Nos enfrentamos a la principal decisión del proyecto, ¿Centralizar o Descentralizar?

Cual es el impacto en: ¿Stock de seguridad? ¿Nivel de servicio? ¿Tiempo de respuesta? ¿Inversión de implantación, personal necesario? ¿Costos de transporte? ¿Costos de almacenaje -por capacidad y transacción?... En definitiva: ¿qué tipo de sistema de distribución nos conviene emplear? Veamos las características de cada uno de ellos:

- **Sistemas de Distribución Multi-escalón:** Los almacenes se abastecen uno al otro en una secuencia definida. La localización de inventario depende del grado de centralización que se determine. Los 2 sistemas extremos se denominan sistema Independiente y sistema Acoplado (Coupled).

- **Sistema Independiente (Centralizado):** La mayor parte del inventario de seguridad se ubica en el almacén central. El almacén central protege a todo el sistema contra la variación de la demanda durante el tiempo de producción o abasto T_p . Los almacenes remotos o regionales tienen inventario para protegerse de la variación de la demanda durante el tiempo de tránsito T_t .

- **Sistema Acoplado (Descentralizado):** La mayor parte del inventario de seguridad se ubica en los almacenes remotos. El almacén central sirve como un área de transición. Los almacenes remotos tienen inventario para protegerse de la variación de la demanda durante el tiempo de producción o abasto T_p más el de tránsito T_t .

Para **localizar los almacenes** debemos tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Pronóstico de la demanda: es fundamental. En este caso consideramos valores conocidos y constantes para cada región de ventas.
- Distribución de áreas a atender o regiones de ventas.
- Beneficios potenciales por cada área (ventas - costos).



Ilustración 4.1. -0-1. Identificar y localizar la demanda correctamente es un factor determinante en el diseño de un sistema de distribución.

Estos cálculos proyectarán un escenario que deberá ser reestudiado periódicamente o cada vez que se produzcan alteraciones en las demandas de las regiones de venta, incluso cuando se produzcan cambios significativos en infraestructuras deberá estudiarse si la distribución de almacenes y rutas es la adecuada. Por tanto, debe estar alimentada de forma continua de información para optimizar en su caso el nivel de servicio o los beneficios esperados.

Estas variables: Número y ubicación, son la diferencia básica entre los primeros modelos estudiados. Entendemos que es el punto de partida para seguir avanzando en la búsqueda del mejor sistema de distribución para Llenroc Plastics Corporation, es decir, una vez decidida esta cuestión podremos orientar el modelo hacia una u otra opción e ir determinando de igual manera el resto de variables de decisión: buscar las mejores rutas, las frecuencias de camiones que ofrezcan mayor utilización de camión, políticas de inventario, capacidades de almacenes y tiempos, distribución de categorías A/B/C, etc.. todo ello buscando la optimización del sistema en cuanto a costes y tiempos de entregas.

Reducir el **número de almacenes** redundará en un decremento del coste operativo del sistema, pero hará descender el servicio al cliente, ya que los pedidos tendrán que hacer mayores trayectos hasta llegar al consumidor. La localización es importante porque la demanda está concentrada en diferentes regiones del país. Debe tenerse en cuenta que en este escenario el 60% de la demanda se concentra en tan solo 5 regiones de venta, como puede observar en siguiente tabla (demanda anual por región de venta):

La cantidad de almacenes estará determinada por el nivel del servicio buscado. A mayor número de almacenes, mayor nivel de servicio, pero, también, mayor volumen total de inventario. Veremos la Ley de Inventarios de la Raíz Cuadrada.

Indice	Región de Ventas	Demanda anual (SqFt/Yr)	Porcentaje de demanda por Región	Porcentaje de demanda acumulada
13	Indiana	30.935.437	19,2%	19,2%
10	Michigan	21.243.457	13,2%	32,3%
16	Florida	19.808.047	12,3%	44,6%
18	New York	15.273.067	9,5%	54,0%
3	So. California	9.720.762	6,0%	60,1%
21	Carolina	9.054.671	5,6%	65,7%
19	Pennsylvania	7.579.795	4,7%	70,4%
15	Georgia	7.535.680	4,7%	75,0%
2	No. California	6.480.508	4,0%	79,0%
9	Texas	5.726.675	3,5%	82,6%
14	Tennessee	5.076.427	3,1%	85,7%
20	Virginia	3.979.639	2,5%	88,2%
7	Minnesota	3.754.798	2,3%	90,5%
22	Ohio	3.610.106	2,2%	92,8%
11	Missouri	2.804.312	1,7%	94,5%
12	Lousiana	2.393.835	1,5%	96,0%
1	Washington	2.373.386	1,5%	97,5%
17	New England	1.661.576	1,0%	98,5%
8	Kansas	941.398	0,6%	99,1%
5	Colorado	895.238	0,6%	99,6%
4	Montana	334.640	0,2%	99,8%
6	Arizona	280.668	0,2%	100,0%
Total demanda semanal		161.464.122	100,0%	

Tabla 4.1. -2 Distribución de la demanda por regiones de venta (RV)

4.2. Paso 2: Asignación de las regiones de ventas a almacenes.

A mayor número de regiones de venta abastecidas desde un almacén, mayor operatividad. Para optimizar el coste de transporte debiera minimizarse la distancia y por tanto, cada región de ventas debiera estar abastecida por el almacén posible más cercano, pero teniendo en cuenta que todos los stock se originan desde el Almacén Central, y deben viajar antes a estos almacenes regionales. Además, el coste de capacidad de almacenes se dispara al disponer de un elevado número de almacenes.

4.3. Paso 3: Establecer rutas que cubran todas las regiones de venta.

Las líneas rectas minimizan el coste de transporte y el coste de stock en tránsito (pipeline stock). Por otro lado, es difícil asignar grandes cantidades de demanda a rutas rectas y obtener una buena utilización de camiones. Las rutas largas deben visitar varias regiones y por tanto aumentarán el coste de transporte y, a menos que dispongan de una frecuencia muy alta, disminuirán el servicio al cliente por aumentar su espera.

A mayor frecuencia de uso de ruta menos ha de esperar el cliente por el próximo camión. El servicio mejora con la frecuencia, pero disminuye la utilización de camión y por tanto incrementa costes de transporte "long haul".

En primer lugar conviene destacar que es primordial establecer los medios de transporte empleados: en el proyecto se da por hecho que no existirá transporte multimodal, y que el único medio será la red de carreteras de EE.UU. Por situarnos en la red de carreteras por las que principalmente habrá de realizarse la distribución entre regiones de venta, incluimos el presente plano de autovías:

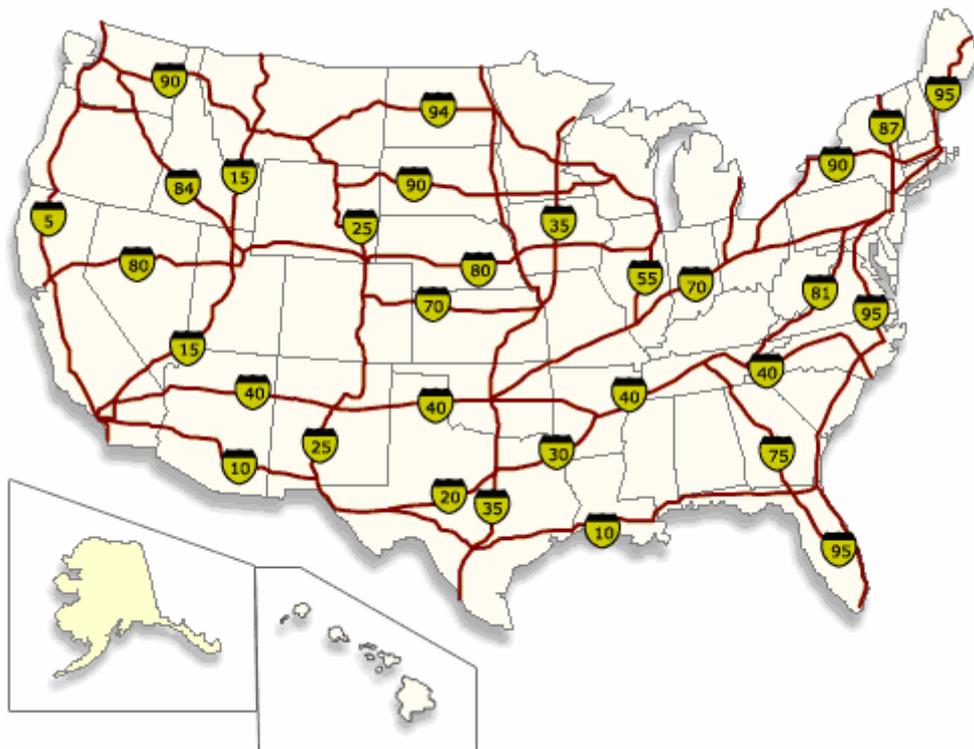


Ilustración 4.3-1: Principales autovías en EE.UU.

En el siguiente plano se sitúan los puntos de distribución de las distintas regiones de venta:

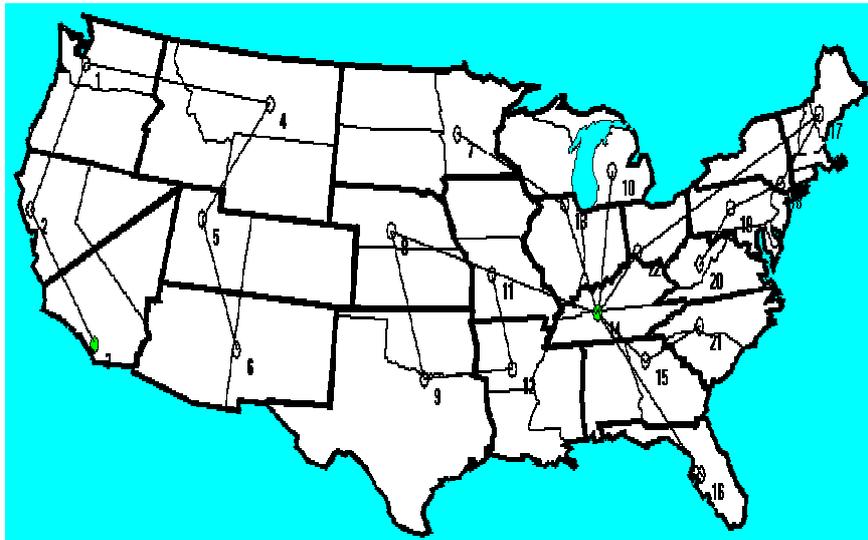
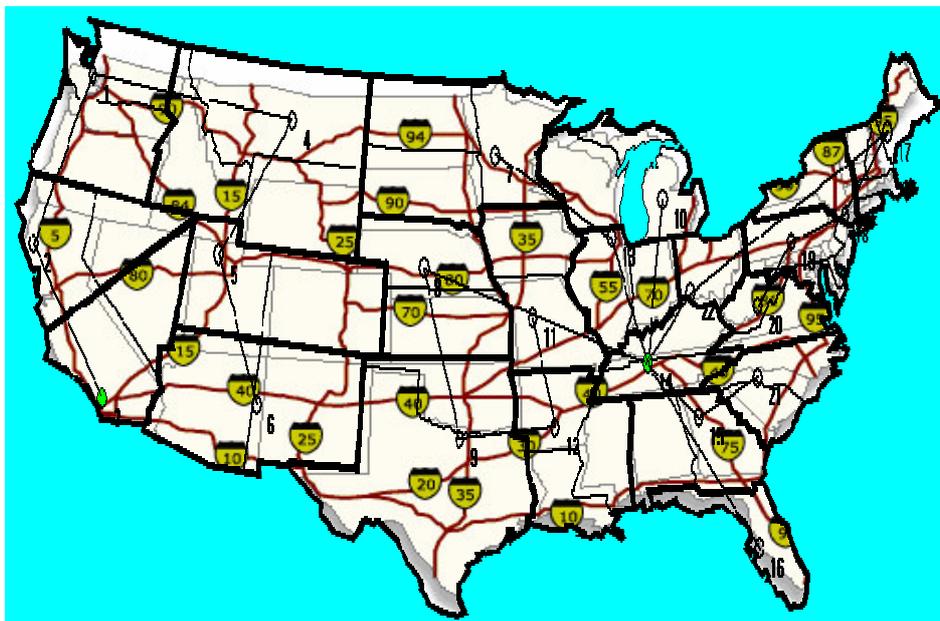


Ilustración 4.3-2: Puntos de distribución de Regiones de venta.

De la superposición de ambos planos obtenemos las vías de comunicación realmente disponibles para viajar entre las distintas regiones:



Y del siguiente cuadro (distancias en avión = líneas casi rectas entre principales ciudades de EE.UU.) podríamos obtener las distancias exactas entre ellas para realizar esta parte del ejercicio sin ayuda del software.

Se obviarán estos datos para centrarnos en el diseño del sistema a un nivel más teórico.

Distancia entre ciudades por Avión en millas

Cities	Birmingham	Boston	Buffalo	Chicago	Cleveland	Dallas	Denver	Detroit	El Paso	Houston	Indianapolis	Kansas City	Los Angeles	Louisville	Memphis	Miami	Minneapolis	New Orleans	New York	Omaha	Philadelphia	Phoenix	Pittsburgh	St. Louis	Salt Lake City	San Francisco	Seattle
Birmingham, Ala.	—	1.05	776	578	618	581	1.1	641	1.15	567	433	579	1.8	331	217	665	862	312	864	732	783	1.46	608	400	1.466	2.01	2.08
Boston, Mass.	1.05	—	400	851	551	1.55	1.77	613	2.07	1.61	807	1.25	2.6	826	1.14	1.26	1.12	1.36	188	1.28	271	2.3	483	1.04	2.099	2.7	2.49
Buffalo, N. Y.	776	400	—	454	173	1.2	1.37	216	1.69	1.29	435	861	2.2	483	803	1.18	731	1.09	292	883	279	1.91	178	662	1.699	2.3	2.12
Chicago, Ill.	578	851	454	—	308	803	920	238	1.25	940	165	414	1.75	269	482	1.19	355	833	713	432	666	1.45	410	262	1.26	1.86	1.74
Cleveland, Ohio	618	551	173	308	—	1.03	1.23	90	1.53	1.11	263	700	2.05	311	630	1.09	630	924	405	739	360	1.75	115	492	1.568	2.17	2.03
Dallas, Tex.	581	1.55	1.2	803	1.03	—	663	999	572	225	763	451	1.24	726	420	1.11	862	443	1.37	586	1.3	887	1.07	547	999	1.48	1.68
Denver, Colo.	1.1	1.77	1.37	920	1.23	663	—	1.16	557	879	1	558	831	1.04	879	1.73	700	1.08	1.63	488	1.58	586	1.32	796	371	949	1.02
Detroit, Mich.	641	613	216	238	90	999	1.16	—	1.48	1.11	240	645	1.98	316	623	1.15	543	939	482	669	443	1.69	205	455	11.49	2.09	1.94
El Paso, Tex.	1.15	2.07	1.69	1.25	1.53	572	557	1.48	—	676	1.26	839	701	1.25	976	1.64	1.16	983	1.91	878	1.84	346	1.59	1.03	689	995	1.38
Houston, Tex.	567	1.61	1.29	940	1.11	225	879	1.11	676	—	865	644	1.37	803	484	968	1.06	318	1.42	794	1.34	1.02	1.14	679	1.2	1.65	1.89
Indianapolis, Ind.	433	807	435	165	263	763	1	240	1.26	865	—	453	1.81	107	384	1.02	511	712	646	525	585	1.5	330	231	1.356	1.95	1.87
Kansas City, Mo.	579	1.25	861	414	700	451	558	645	839	644	453	—	1.36	480	369	1.24	413	680	1.1	166	1.04	1.05	781	238	925	1.51	1.51
Los Angeles, Calif.	1.8	2.6	2.2	1.75	2.05	1.24	831	1.98	701	1.37	1.81	1.36	—	1.83	1.6	2.34	1.52	1.67	2.45	1.32	2.39	357	2.14	1.59	579	347	959
Louisville, Ky.	331	826	483	269	311	726	1.04	316	1.25	803	107	480	1.83	—	320	919	605	623	652	580	582	1.51	344	242	1.402	1.99	1.94
Memphis, Tenn.	217	1.14	803	482	630	420	879	623	976	484	384	369	1.6	320	—	872	699	358	957	529	881	1.26	660	240	1.25	1.8	1.87
Miami, Fla.	665	1.26	1.18	1.19	1.09	1.11	1.73	1.15	1.64	968	1.02	1.24	2.34	919	872	—	1.51	669	1.09	1.4	1.02	1.98	1.01	1.06	2.089	2.59	2.73
Minneapolis, Minn.	862	1.12	731	355	630	862	700	543	1.16	1.06	511	413	1.52	605	699	1.51	—	1.05	1.02	290	985	1.28	743	466	987	1.58	1.4
New Orleans, La.	312	1.36	1.09	833	924	443	1.08	939	983	318	712	680	1.67	623	358	669	1.05	—	1.17	847	1.09	1.32	919	598	1.434	1.93	2.1
New York, N. Y.	864	188	292	713	405	1.37	1.63	482	1.91	1.42	646	1.1	2.45	652	957	1.09	1.02	1.17	—	1.14	83	2.15	317	875	1.972	2.57	2.41
Omaha, Neb.	732	1.28	883	432	739	586	488	669	878	794	525	166	1.32	580	529	1.4	290	847	1.14	—	1.09	1.04	836	354	833	1.43	1.37
Philadelphia, Pa.	783	271	279	666	360	1.3	1.58	443	1.84	1.34	585	1.04	2.39	582	881	1.02	985	1.09	83	1.09	—	2.08	259	811	1.925	2.52	2.38
Phoenix, Ariz.	1.46	2.3	1.91	1.45	1.75	887	586	1.69	346	1.02	1.5	1.05	357	1.51	1.26	1.98	1.28	1.32	2.15	1.04	2.08	—	1.83	1.27	504	653	1.11
Pittsburgh, Pa.	608	483	178	410	115	1.07	1.32	205	1.59	1.14	330	781	2.14	344	660	1.01	743	919	317	836	259	1.83	—	559	1.668	2.26	2.14
St. Louis, Mo.	400	1.04	662	262	492	547	796	455	1.03	679	231	238	1.59	242	240	1.06	466	598	875	354	811	1.27	559	—	1.162	1.74	1.72
Salt Lake City, Utah	1.47	2.1	1.7	1.26	1.57	999	371	1.49	689	1.2	1.36	925	579	1.4	1.25	2.09	987	1.43	1.97	833	1.93	504	1.67	1.16	—	600	701
San Francisco, Calif.	2.01	2.7	2.3	1.86	2.17	1.48	949	2.09	995	1.65	1.95	1.51	347	1.99	1.8	2.59	1.58	1.93	2.57	1.43	2.52	653	2.26	1.74	600	—	678
Seattle, Wash.	2.08	2.49	2.12	1.74	2.03	1.68	1.02	1.94	1.38	1.89	1.87	1.51	959	1.94	1.87	2.73	1.4	2.1	2.41	1.37	2.38	1.11	2.14	1.72	701	678	—
Washington, D.C.	661	393	292	597	306	1.19	1.49	396	1.73	1.22	494	945	2.3	476	765	923	934	966	205	1.01	123	1.98	192	712	1.848	2.44	2.33

Tabla 4.3-1: Distancias entre ciudades por avión.

4.4. Paso 4: Determinar frecuencia de viajes por ruta, según demanda.

A mayor demanda a satisfacer por ruta, mayor número de camiones y frecuencia de uso. Es necesario hacer un buen estudio de utilización de camión para evitar viajar (al mismo coste) con menos carga de la que puede transportar. Más frecuencia supone mayor servicio, pero también mayor coste.

El número de viajes máximo es uno por día y ruta, es decir 7 a la semana, y su carga es de 115.000 SqFt, lo que significa un máximo de 805.000 SqFt por semana cada ruta.

4.5. Paso 5: Decidir necesidades de stock.

El principal objetivo de los inventarios es el actuar **como reguladores entre los ritmos de entrada y las cadencias de las salidas**. Entrando un poco más con detenimiento, podemos señalar como objetivos de los inventarios:

- **Reducción del Riesgo:** Generalmente no se conoce con certeza la demanda de productos terminados que habrá en el próximo periodo y por tanto:
- Para evitar que un repentino aumento de la demanda, produzca un desabastecimiento que obligue a dejar de satisfacerla, se mantiene un stock de seguridad de productos terminados.
- Del mismo modo, no es posible saber con toda certeza el tiempo que tardarán los proveedores en servir el pedido. Para evitar una detención de proceso de producción por agotamiento del almacén de materias primas, se mantiene un stock de seguridad de materias primas.
- Este último es necesario, incluso cuando los proveedores son de absoluta confianza, pues un aumento inesperado de la intensidad de la demanda de productos terminados, puede provocar una mayor necesidad de producción, lo cual requiere a su vez una repentina elevación del ritmo de salidas del almacén de materias primas que puede agotarse si no dispone de un nivel mínimo o stock de seguridad.

Esta reducción del riesgo es lo que muchos autores han denominado como la **Función de compras** que desempeñan los aprovisionamientos, es decir, supone el definir las necesidades de la empresa en cantidad, calidad y plazo de suministro, y participar en la determinación de la gama de productos, relacionando las actividades de aprovisionamiento con las estimaciones de ventas.

- **Aprovechar economías de escala.** La producción y transporte de artículos en altos volúmenes es menos costoso.
- **Servir a los clientes.** La demanda de los clientes no es 100% predecible por lo que se requiere inventario para cubrir las variaciones de los pedidos.
- **Suavizar producción y desacoplar procesos.** Demanda estacional se satisface con inventario en lugar de un alto nivel de capacidad.
- También se requiere **tiempo para procesar y mover artículos**.

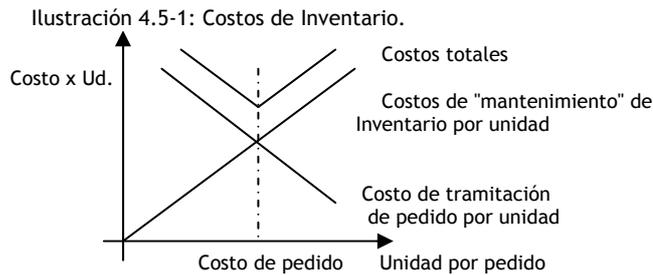
Para decidir cuales serán los mejores niveles de inventario se deberá conocer cuando se emiten las órdenes y cual será el volumen. Los inventarios no se mantienen constantes, sino que decrecen con el tiempo.

Determinar el nivel mínimo almacenado o "punto de pedido" antes de emitir una orden dependerá de:

- Tiempo desde que solicitan los productos hasta que se recibe.
- Tiempo que tardan en agotarse las existencias por los clientes.
- N° de pedidos que la empresa piensa servir con las existencias.

Cuanto mayores sean estos valores, mayor será el "punto de pedido".

Aparte de esto tenemos el Stock de seguridad, que se fijará comparando los costos de servicio con los costos que representa el inventario. El punto de equilibrio se alcanza cuando se hacen mínimos ambos costes.



$$T = (D/Q)X + (Q/2)Ic$$

Resolviendo la derivada primera respecto a Q , e igualando a 0 $\rightarrow Q = (2DS/Ic)^{-2}$

Que nos permite determinar la magnitud a pedir, donde:

Q : Cantidad del pedido en unidades
 C : coste de cada unidad
 I : costo anual de sostenimiento / coste por unidad
 S : costo de solicitud de pedido
 D : Demanda anual
 $Q/2$: cantidad promedio disponible
 D/Q : Número de pedidos por año.
 Ic : costo anual de inventariar por unidad
 $(D/Q)S$: costo total de reaprovisionamiento.

Con la política de pedir (Q/S), la cantidad Q en el periodo.
 $(Q/2)Ic$: Coste total variable de mantenimiento del stock en el periodo de tiempo.

La ubicación y tamaño de los inventarios en una red logística son aspectos de gran importancia, tanto a nivel de materia prima, como en etapas intermedias de fabricación, o en la propia red de distribución como se ha visto anteriormente (cíclico, de seguridad o en tránsito).

En la mayoría de las ocasiones, no tiene sentido producir o comprar artículos a medida que van siendo demandados. En estos casos, se lanza una orden de pedido de un tamaño superior a las necesidades del momento, dando así lugar a un inventario que es consumido a lo largo del tiempo.

- **Valor Agregado.** Si el valor agregado que se añade a través del proceso es bajo, la ubicación puede ser hasta al final de la cadena. La idea es localizar el inventario al menor costo.
- **Número de Partes y Productos.** A medida que la cantidad de partes o productos aumenta el costo de inventariar también. Si un grupo de partes básicas estándar se usan para fabricar una amplia variedad de opciones, lo mejor sería mantener en inventario las partes.
- **Tiempo de Respuesta (Lead Time).** Si éste es menor al requerido por el mercado la ubicación tiende hacia los proveedores. El concepto de Punto de Desacople es importante para la determinación de la ubicación.
- **Características del Mercado.** Depende de si el mercado acepta servirse vía órdenes o de inventario. Si los productos son fabricados en masa y son relativamente estándar, se espera que los clientes se sirvan del stock. Los productos hechos al gusto del cliente normalmente se producen por pedido (no es el caso de este proyecto).

La disminución de stock de ciclo reduce la necesidad de capacidad de almacén, y por tanto de coste de capacidad de almacén. Por otro lado, también significa que las órdenes de stock deben ser emitidas más frecuentemente y el número de transacciones crece. Parte de los costes operativos de almacén se determinan por el número de transacciones que hay que procesar, por lo que los costes se elevan. También, desde que se emitan órdenes con mayor frecuencia aumentarán las salidas desde stock, por lo que el stock de seguridad debe aumentarse para compensar (y mantenerlo constante). Cuando el stock de seguridad se incrementa, la reducción de necesidades de capacidad de almacén no es tan grande como en la reducción del stock de ciclo.

Reducir la tasa de llenado provoca disminución del stock de seguridad, y disminuye los costes de inventario y las necesidades de capacidad de almacén. Por otro lado, esta medida también aumenta la posibilidad de que un

pedido de cliente no esté en stock, con lo cual habría que traerlo desde Almacén central, añadiendo retraso a la espera del cliente. Si el Almacén central tiene una baja tasa de llenado, puede que tampoco esté en su stock y por tanto, habría que esperar su proceso de fabricación. El cambiar la cadena para satisfacer a un cliente, aunque sea poco tiempo, provoca retrasos en otros suministros, y las tasas de llenado van decreciendo.

4.6. Paso 6: Decidir la capacidad de cada almacén.

Decidir la capacidad de cada almacén, tanto del central como de los regionales, para cubrir su demanda asignada y las necesidades de stock según:

- la política de inventarios prevista (repartiendo el inventario de seguridad entre las 3 categorías previstas A, B y C), y
- la frecuencia de camiones desde central a dichos almacenes.

Un almacén de alta capacidad es menos costoso que dos almacenes de menor capacidad. El almacén debe ser lo suficientemente grande para acomodar el Stock de ciclo y el de seguridad. Los niveles de stock estarán determinados por la política de inventarios del almacén.

Se define **utilización de capacidad -Almacén- (Warehouse Capacity Utilization)**, como la fracción de la capacidad de almacén que es utilizada por stock bajo el plan actual del inventario. Se calcula como: la proporción de stock totales por capacidad de este almacén multiplicado por 100%.

Establecer mayor **frecuencia de camiones "long haul" hasta almacenes regionales** significa disminuir el plazo de espera de reposición en el almacén regional. En cambio, reduce la cantidad de stock de seguridad requerido por el almacén regional. Por otro lado, incrementar la frecuencia de embarque puede implicar bajar la utilización de camiones de los grandes trayectos de distribución (long haul) y por tanto, elevar el coste de transporte.

4.7. Paso 7: Elegir el mejor modelo, punto de vista coste/servicio

En el sexto apartado de esta primera parte se expone detalladamente la metodología empleada para seleccionar el mejor modelo entre las distintas propuestas descritas anteriormente.

Por un lado se hará un análisis entre los modelos con mejores resultados bajo el punto de vista económico, y por otro de resultantes bajo el punto de vista de servicio, es decir, tiempo medio de espera de clientes. Finalmente se buscará una solución que equilibre dichos valores para obtener el modelo finalmente seleccionado.

Posteriormente se desarrollarán modelos económicos y matemáticos que podrán corroborar que el modelo elegido es válido, o por el contrario determinar si es necesaria una evolución en alguna/s variable/s de decisión para mejorar la solución aportada.

5. DESCRIPCION ECONÓMICA/FUNCIONAL DE MODELOS.

5.1. Modelo FER00: MAXIMOS ALMACENES REGIONALES (11 AR)

Tratando de buscar la mayor cercanía de servicio se realiza este modelo de prueba en el que se asigna el número máximo de almacenes regionales que permite el software WLD. Se puede observar como se han situado 11 almacenes regionales, aparte del almacén central. Las rutas hasta BBP desde almacenes regionales son mínimas ya que la mercancía llega básicamente de forma directa al cliente desde almacenes regionales, que sirven de BBP.

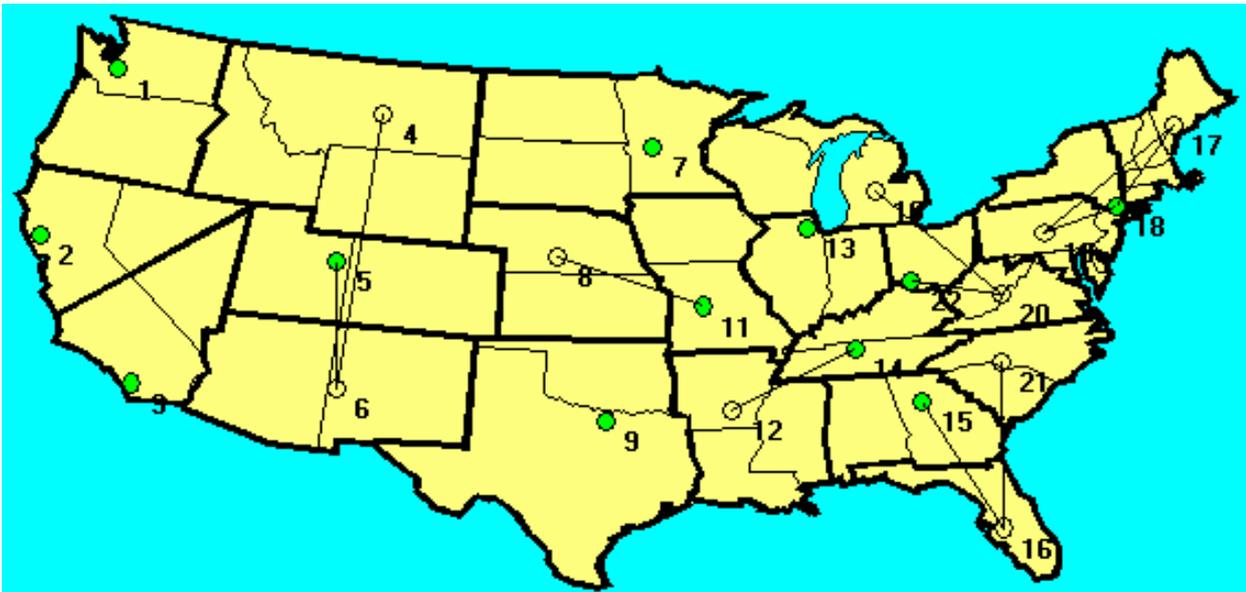


Ilustración 5.1-1: Almacenes Regionales, asignación de Regiones de Venta y rutas.

Los resultados generales de esta propuesta son:

Ingresos netos anuales (Annual Net Income):	\$7.723.584
Espera media de clientes (Avg. Cust. Wait)	4,63 días.

Sales Revenue			\$84.292.473
CGS @ \$0,31/SqFt			\$50.538.269
Gross Profit			\$33.754.204
Warehouse Capacity Cost			\$20.385.000
Warehouse Transaction Cost			\$782.056
Transportation Cost:			
Long Haul from Central		\$1.203.418	
Long Haul to BBP		\$524.290	
Short Haul to Customers		\$2.625.463	
Total Transportation Cost			\$4.353.171
Inventory Investment:			
Pipeline Stock from Central	\$197.811		
Pipeline Stock to BPP	\$70.420		
Cycle Stock	\$1.370.739		
Safety Stock	\$912.995		
Total Inventory Investment		\$2.551.965	
Investment Finance Cost @ 20,0%			\$510.393
Total Distribution System Cost			\$26.030.620
Net Income Before Tax			\$7.723.584

Tabla 5.1-1: Resultados económicos del modelo.

Análisis de resultados del modelo FER00:

Lógicamente encontramos el valor mínimo en tiempo de espera medio de clientes y el máximo coste derivado de almacenes (capacidad y transacciones).

Warehouse Capacity Cost	\$20.385.000
Warehouse Transaction Cost	\$782.056
Long Haul from Central	\$1.203.418
Long Haul to BBP	\$524.290

Se puede clasificar como "Modelo Acoplado o Descentralizado" y nos servirá de referencia para siguientes modelos a ensayar. Nos iremos acercando paulativamente al sistema Multiescalón y finalmente veremos que resultados provoca disminuir la dispersión de almacenes, es decir, acercarnos al "Modelo Centralizado o Independiente".

Entre estos modelos elegiremos el más rentable (beneficio / servicio) y trataremos de ir optimizándolo mediante la gestión del inventario por categorías y, consecuentemente, las capacidades de almacenes.

En este modelo el transporte "Long Haul" desde central es máximo (\$1,2 MM) y el LH hasta BBP es mínimo (\$0,5 MM). El inventario es alto debido al gran número de almacenes, destacando el stock de ciclo, que supera el 53%.

Pipeline Stock from Central	\$197.811
Pipeline Stock to BPP	\$70.420
Cycle Stock	\$1.370.739
Safety Stock	\$912.995

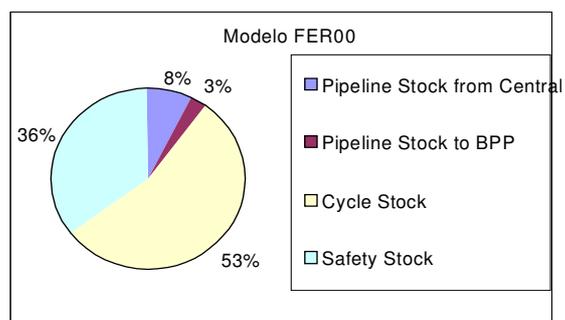


Ilustración 5.1-2: Distribución del stock

WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Atlanta	1.100.000	\$2.137.500	13.520	\$101.400	242	\$83.488	\$16.832
2	Chicago	1.000.000	\$2.040.000	13.520	\$101.400	446	\$236.449	\$26.365
3	Cincinnati	900.000	\$1.942.500	13.520	\$101.400	250	\$68.322	\$13.774
4	Dallas	400.000	\$1.455.000	7.038	\$52.786	660	\$56.688	\$7.222
5	Kansas City	500.000	\$1.552.500	5.503	\$41.272	556	\$19.740	\$3.980
6	Los Angeles	600.000	\$1.650.000	10.134	\$76.002	2.025	\$186.575	\$37.615
7	Minneapolis	500.000	\$1.552.500	5.510	\$41.325	826	\$29.396	\$5.926
8	Nashville	500.000	\$1.552.500	8.389	\$62.921	0	\$0	\$0
9	New York City	800.000	\$1.845.000	13.520	\$101.400	892	\$207.260	\$41.785
10	Portland Or.	500.000	\$1.552.500	3.665	\$27.488	2.359	\$53.067	\$10.699
11	Salt Lake City	500.000	\$1.552.500	2.333	\$17.495	1.636	\$23.423	\$4.722
12	San Francisco	500.000	\$1.552.500	7.622	\$57.168	2.333	\$239.010	\$28.891
	Totals	7.800.000	\$20.385.000	104.274	\$782.056		\$1.203.418	\$197.811

Tabla 5.1-2: Distribución de costes, transacciones y distancias por AR.

Los costes de almacén en este modelo representan casi el triple del Beneficio antes de impuestos, y 2/3 de los beneficios brutos.

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Washington	1,47 %	0,58	3,00	0,00	0,00	3,58
2	No California	4,01 %	0,58	3,00	0,00	0,00	3,58
3	So California	6,02 %	0,51	3,00	0,00	0,00	3,51
4	Montana	0,21 %	0,44	3,00	7,00	2,64	13,08
5	Colorado	0,55 %	0,44	3,00	0,00	0,00	3,44
6	Arizona	0,17 %	0,44	3,00	7,00	0,98	11,41
7	Minnesota	2,33 %	0,27	3,00	0,00	0,00	3,27
8	Kansas	0,58 %	0,22	3,00	7,00	0,56	10,77
9	Texas	3,55 %	0,24	3,00	0,00	0,00	3,24
10	Michigan	13,16 %	0,16	3,00	1,40	1,64	6,19
11	Missouri	1,74 %	0,22	3,00	0,00	0,00	3,22
12	Louisiana	1,48 %	1,18	3,00	7,00	0,80	11,98
13	Indiana	19,16 %	0,20	3,00	0,00	0,00	3,20
14	Tennessee	3,14 %	1,18	3,00	0,00	0,00	4,18
15	Georgia	4,67 %	0,16	3,00	0,00	0,00	3,16
16	Florida	12,27 %	0,16	3,00	1,40	0,68	5,23
17	New England	1,03 %	0,29	3,00	3,50	0,47	7,25
18	New York	9,46 %	0,29	3,00	0,00	0,00	3,29
19	Pennsylvania	4,69 %	0,29	3,00	3,50	1,58	8,36
20	Virginia	2,46 %	0,16	3,00	1,40	0,57	5,13
21	Carolina	5,61 %	0,16	3,00	1,40	1,68	6,23
22	Dhio	2,24 %	0,16	3,00	0,00	0,00	3,16
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,29	3,00	0,84	0,51	4,63

Tabla 5.1-3: Detalle de tiempo de espera de cada RV

Como se observa en la tabla, solo hay tres esperas medias de clientes superiores a 10 días, y además no suponen ni el 3% de la demanda. Aunque la máxima espera es de 13,08 días puede corresponderse con un cliente no rentable (Montana).

Entendemos que esta propuesta es demasiado arriesgada desde el punto de vista de negocio, ya que la inversión inicial será máxima. Su validez radica en servir de referencia de valores mínimos en esperas de cliente y costes máximos en almacenaje.

5.2. Modelo FER01: PRIMERA REDUCCIÓN DE ALMACENES REGIONALES (7 AR)

Para aligerar tanto costes de transportes "long haul" desde central como los costes de almacenes, en este modelo se reduce el número de almacenes regionales hasta 7, estableciendo rutas muy cortas para mantener un tiempo corto de espera de clientes.



Ilustración 5.2-1: Almacenes Regionales, asignación de Regiones de Venta y rutas.

Los resultados generales de esta propuesta son:
 Ingresos netos anuales : \$13.651.785
 Espera media de clientes: 4,95 días.

Sales Revenue			\$84.292.473
CGS @ \$0,31/SqFt			\$50.538.269
Gross Profit			\$33.754.204
Warehouse Capacity Cost			\$14.662.500
Warehouse Transaction Cost			\$682.524
Transportation Cost:			
Long Haul from Central		\$988.900	
Long Haul to BBP		\$723.010	
Short Haul to Customers		\$2.625.463	
Total Transportation Cost			\$4.337.373
Inventory Investment:			
Pipeline Stock from Central	\$199.369		
Pipeline Stock to BPP	\$76.339		
Cycle Stock	\$1.360.646		
Safety Stock	\$463.756		
Total Inventory Investment		\$2.100.110	
Investment Finance Cost @ 20,0%			\$420.022
Total Distribution System Cost			\$20.102.419
Net Income Before Tax			\$13.651.785

Tabla 5.2-1: Cuadro resumen de resultados económicos.

Análisis de resultados del modelo FER01:

En esta opción hemos reducido considerablemente los costes de almacenaje, optando por dejar los almacenes situados en zonas de mayor demanda, y eliminando el resto.

El coste de capacidad de almacén baja más del 15% y la capacidad de 7,8 a 6,3 M.SqFt.

El coste de transporte se mantiene (\$4,3 MM). Se equilibra porque en realidad estamos bajando el transporte LH desde central y elevando el LH hasta BBP.

Warehouse Capacity Cost	\$14.662.500
Warehouse Transaction Cost	\$682.524
Long Haul from Central	\$988.900
Long Haul to BBP	\$723.010

En cuanto al stock, el de tránsito, que es proporcional al transporte, se mantiene aproximadamente constante. El stock de ciclo, también. Sin embargo hemos reducido a la mitad el stock de seguridad (al tener casi la mitad de almacenes). Pero como el stock solo nos afecta en un 20%, por ser este el coste financiero de inventario, respecto al anterior modelo la mejora en inventario resulta irrelevante.

Como resultado, el coste total de distribución baja de 26 a \$20,1 Mm. y sin embargo, el beneficio antes de impuestos casi se duplica (de 7,7 a 13,7 MM).

Pipeline Stock from Central	\$199.369
Pipeline Stock to BPP	\$76.339
Cycle Stock	\$1.360.646
Safety Stock	\$463.756

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Washington	1,47 %	0,58	3,00	7,00	3,76	14,34
2	No California	4,01 %	0,58	3,00	0,00	0,00	3,58
3	So California	6,02 %	0,52	3,00	0,00	0,00	3,52
4	Montana	0,21 %	0,58	3,00	7,00	2,63	13,21
5	Colorado	0,55 %	0,58	3,00	7,00	1,67	12,25
6	Arizona	0,17 %	0,52	3,00	7,00	1,16	11,68
7	Minnesota	2,33 %	0,20	3,00	3,50	0,91	7,62
8	Kansas	0,58 %	0,25	3,00	7,00	1,26	11,51
9	Texas	3,55 %	0,25	3,00	0,00	0,00	3,25
10	Michigan	13,16 %	0,16	3,00	1,75	0,85	5,76
11	Missouri	1,74 %	0,20	3,00	3,50	1,90	8,60
12	Louisiana	1,48 %	0,25	3,00	7,00	2,86	13,11
13	Indiana	19,16 %	0,20	3,00	0,00	0,00	3,20
14	Tennessee	3,14 %	1,27	3,00	0,00	0,00	4,27
15	Georgia	4,67 %	0,16	3,00	0,00	0,00	3,16
16	Florida	12,27 %	0,16	3,00	1,17	0,68	5,01
17	New England	1,03 %	0,29	3,00	3,50	1,44	8,24
18	New York	9,46 %	0,29	3,00	0,00	0,00	3,29
19	Pennsylvania	4,69 %	0,29	3,00	3,50	0,33	7,13
20	Virginia	2,46 %	0,16	3,00	1,17	2,23	6,56
21	Carolina	5,61 %	0,16	3,00	1,17	1,68	6,01
22	Ohio	2,24 %	0,16	3,00	0,00	0,00	3,16
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,28	3,00	1,12	0,55	4,95

Tabla 5.2-2: Cuadro resumen de tiempos de espera

En cuanto a la espera media de clientes, sube hasta 4,95 días. Ya son 6 los clientes con espera media superior a 10 días, pero suponen aún menos del 5% de la demanda. Es decir, son muy buenos resultados en cuanto a servicio (tiempo de espera).

5.3. Modelo FER02: SEGUNDA REDUCCIÓN DE ALMACENES REGIONALES (3 AR)

A la vista de la función del coste de capacidad de almacén, continuamos con la reducción del número de almacenes. Para ello tenemos en cuenta, la demanda que cada uno de ellos deberá soportar, y se buscan altas demandas en las zonas a ubicar el almacén.

Por ello, se eligen para la zona oeste el So California (RV 3), en la ruta que se diseña desde este almacén se incluyen las RV 8 y 9 por la escasa demanda que presentan. La demanda abastecida mediante esta ruta representa aproximadamente el 16,6% del total.

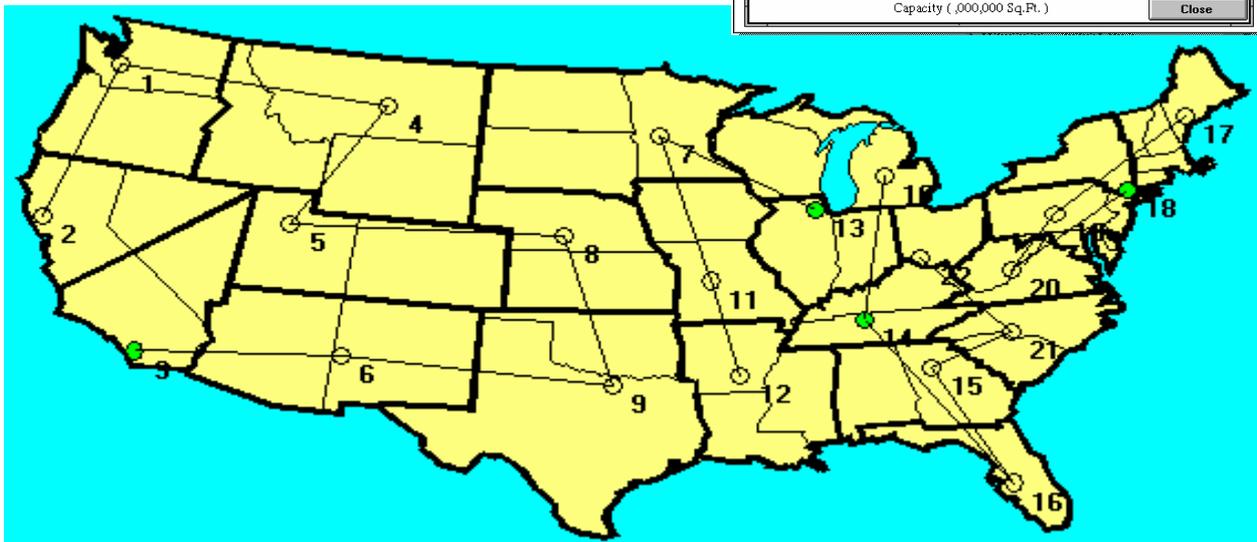
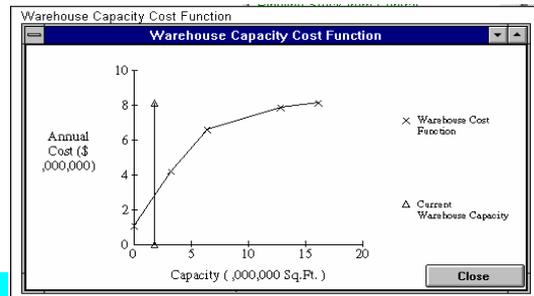


Ilustración 5.3-1: Almacenes Regionales, asignación de Regiones de Venta y rutas. Función de coste de capacidad de almacén.

En principio puede no parecer razonable asignar estas dos RV al almacén de la RV3, pero debe tenerse en cuenta que la demanda se concentra en el este y que la 2ª ruta, que podríamos denominar central, aunque es más cercana (13→7→11→12) ha surgido debido a la concentración de demanda de la región de venta RV-13, que concentra el 19,8% de la demanda total, y por tanto, estimamos oportuno asignarle su propio stock de seguridad. La creación de esta ruta es más bien fruto de su cercanía otras zonas de baja demanda (7, 11 y 12). La demanda total de esta ruta representa el 25,3% del total.

La zona 10 es abastecida por una 3ª ruta. Es la segunda de mayor demanda (13,8%), hemos decidido asignarla directamente de almacén por la escasa distancia 512 Millas, con una frecuencia alta de camiones (cada 1,8 días) que asegure la disponibilidad en mínimo tiempo desde central.

La ruta sudeste 14→16→15→21→22 surge centrada en la RV-16, la tercera en demanda con un 12,7%, el viaje de retorno una vez suministrada esta región de ventas permite pasar por estas tres RV (15, 21 y 22) que concentran otro 12,9% de la demanda. De modo que esta 4ª ruta concentra el 25,6% de la demanda total.

Finalmente, la RV-18, con un 9,8% de la demanda (la cuarta) se establece como almacén regional para las RV-17,19 y 20 mediante la 5ª ruta, la noreste estas tres concentran otro 8,5%, por lo que la ruta representa el 18,3% de la demanda total.

Los resultados generales de esta propuesta son:

Ingreso anual neto: \$18.887.429
 Espera media de clientes: 6,26 días

Sales Revenue			\$84.292.473	
CGS @ \$0,31/SqFt			\$50.538.269	
Gross Profit				\$33.754.204
Warehouse Capacity Cost			\$9.427.500	
Warehouse Transaction Cost			\$405.600	
Transportation Cost:				
Long Haul from Central		\$990.843		
Long Haul to BBP		\$1.027.891		
Short Haul to Customers		\$2.625.463		
Total Transportation Cost			\$4.644.197	
Inventory Investment:				
Pipeline Stock from Central	\$186.085			
Pipeline Stock to BPP	\$205.678			
Cycle Stock	\$1.360.646			
Safety Stock	\$194.981			
Total Inventory Investment		\$1.947.390		
Investment Finance Cost @ 20,0%			\$389.478	
Total Distribution System Cost				\$14.866.775
Net Income Before Tax				\$18.887.429

Tabla 5.3-1: Cuadro resumen de resultados económicos.

Análisis de resultados del modelo FER02:

Con esta drástica reducción de almacenes (nos quedamos solo con 3 ubicados en zonas de altas demandas) y situándolos en puntos estratégicos para distribuir a otras regiones de venta con menor demanda o con demanda alta, pero sin posibilidad de ubicar en ellas almacenes regionales (vienen predeterminadas por el propio WLD).

La capacidad de almacén continúa bajando (un 50%) debido a la reducción de almacenes. El coste se sitúa ahora en \$9,4 Mm, mientras en el FER00 partíamos de un coste de \$20,3 Mm.

Los costes de transporte suben ligeramente hasta \$4,6 Mm.

Warehouse Capacity Cost	\$9.427.500
Warehouse Transaction Cost	\$405.600
Long Haul from Central	\$990.843
Long Haul to BBP	\$1.027.891

Warehouse Cost Report								
WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Atlanta	0	\$0	0	\$0	242	\$0	\$0
2	Chicago	1.200.000	\$2.235.000	13.520	\$101.400	446	\$236.449	\$33.995
3	Cincinnati	0	\$0	0	\$0	250	\$0	\$0
4	Dallas	0	\$0	0	\$0	660	\$0	\$0
5	Kansas City	0	\$0	0	\$0	556	\$0	\$0
6	Los Angeles	1.000.000	\$2.040.000	13.520	\$101.400	2.025	\$513.488	\$103.522
7	Minneapolis	0	\$0	0	\$0	826	\$0	\$0
8	Nashville	2.200.000	\$3.210.000	13.520	\$101.400	0	\$0	\$0
9	New York City	900.000	\$1.942.500	13.520	\$101.400	892	\$240.906	\$48.568
10	Portland Or.	0	\$0	0	\$0	2.359	\$0	\$0
11	Salt Lake City	0	\$0	0	\$0	1.636	\$0	\$0
12	San Francisco	0	\$0	0	\$0	2.333	\$0	\$0
	Totals	5.300.000	\$9.427.500	54.080	\$405.600		\$990.843	\$186.085

Tabla 5.3-2 Desglose de costes por AR

Pipeline Stock from Central	\$186.085
Pipeline Stock to BPP	\$205.678
Cycle Stock	\$1.360.646
Safety Stock	\$194.981

Podemos llegar a la conclusión de que el sistema de distribución se ha abaratado notablemente, desde los \$26 MM. del FER00 hasta los \$14,8 MM. que ofrece este modelo, y por tanto, los beneficios suben hasta \$18,9 Mm.

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Washington	1,47 %	0,51	3,00	2,33	7,58	13,43
2	No California	4,01 %	0,51	3,00	2,33	9,00	14,85
3	So California	6,02 %	0,51	3,00	0,00	0,00	3,51
4	Montana	0,21 %	0,51	3,00	2,33	6,45	12,30
5	Colorado	0,55 %	0,51	3,00	2,33	5,50	11,34
6	Arizona	0,17 %	0,51	3,00	2,33	1,16	7,00
7	Minnesota	2,33 %	0,20	3,00	3,50	0,91	7,61
8	Kansas	0,58 %	0,51	3,00	2,33	3,98	9,83
9	Texas	3,55 %	0,51	3,00	2,33	2,73	8,57
10	Michigan	13,16 %	1,18	3,00	1,75	1,14	7,07
11	Missouri	1,74 %	0,20	3,00	3,50	1,90	8,59
12	Louisiana	1,48 %	0,20	3,00	3,50	2,79	9,48
13	Indiana	19,16 %	0,20	3,00	0,00	0,00	3,20
14	Tennessee	3,14 %	1,18	3,00	0,00	0,00	4,18
15	Georgia	4,67 %	1,18	3,00	1,00	2,01	7,19
16	Florida	12,27 %	1,18	3,00	1,00	1,33	6,52
17	New England	1,03 %	0,29	3,00	2,33	2,58	8,20
18	New York	9,46 %	0,29	3,00	0,00	0,00	3,29
19	Pennsylvania	4,69 %	0,29	3,00	2,33	1,47	7,09
20	Virginia	2,46 %	0,29	3,00	2,33	0,80	6,42
21	Carolina	5,61 %	1,18	3,00	1,00	2,68	7,86
22	Ohio	2,24 %	1,18	3,00	1,00	3,37	8,55
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,67	3,00	1,11	1,48	6,26

Tabla 5.3-3 Detalle de tiempos de espera RV

La espera de clientes ha llegado hasta los 6,26 días, pero únicamente hay 4 clientes que superan los 10 días, y representan solo el 6,24% de la demanda total.

5.4. Modelo FER03: IGUAL MODELO FER02 CON REESTUDIO DE INVENTARIO

Probamos de nuevo el modelo anterior, pero en este caso vamos a tratar de disminuir la necesidad de stock de seguridad. Por tanto, las rutas y ubicación de almacenes permanecen constantes respecto al modelo FER02.

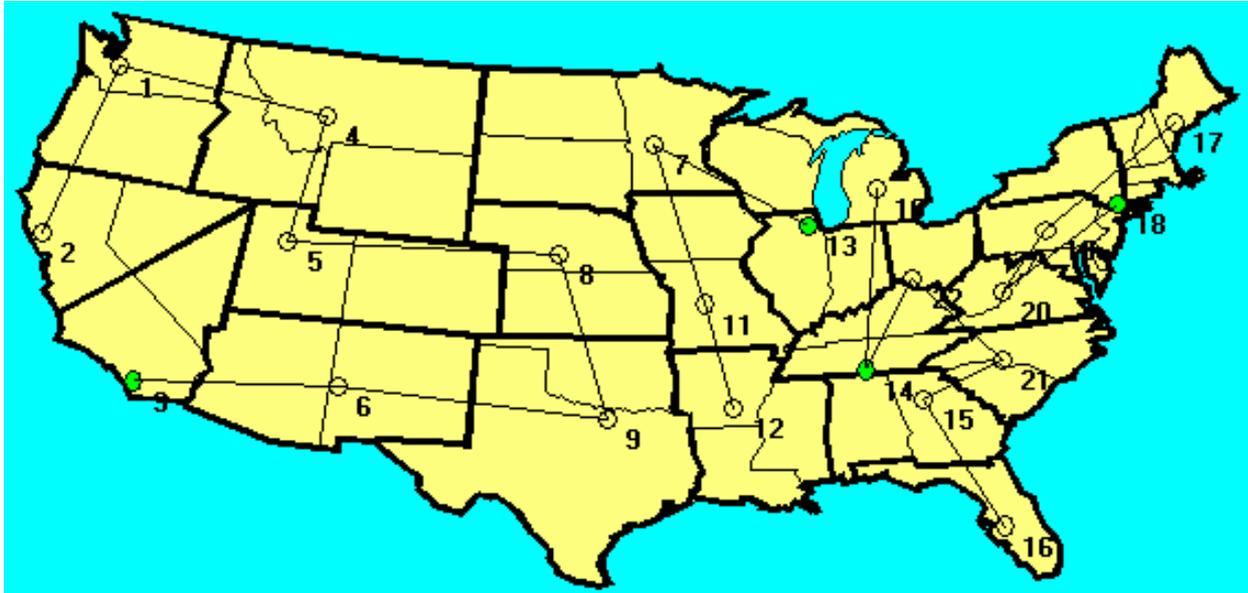


Ilustración 5.4-1: Almacenes Regionales, asignación de Regiones de Venta y rutas.

Los resultados generales de esta propuesta son:

Ingreso Anual Neto: \$19.566.186
 Espera media de clientes: 7,28 días

Sales Revenue			\$84.292.473
CGS @ \$0,31/SqFt			\$50.538.269
Gross Profit			\$33.754.204
Warehouse Capacity Cost			\$8.842.500
Warehouse Transaction Cost			\$405.600
Transportation Cost:			
Long Haul from Central		\$923.014	
Long Haul to BBP		\$1.027.891	
Short Haul to Customers		\$2.625.463	
Total Transportation Cost			\$4.576.368
Inventory Investment:			
Pipeline Stock from Central	\$186.085		
Pipeline Stock to BPP	\$206.558		
Cycle Stock	\$1.360.646		
Safety Stock	\$64.462		
Total Inventory Investment		\$1.817.751	
Investment Finance Cost @ 20,0%			\$363.550
Total Distribution System Cost			\$14.188.018
Net Income Before Tax			\$19.566.186

Tabla 5.4-1 Cuadro resumen de resultados económicos.

Análisis de resultados del modelo FER03:

En este modelo hemos incrementado el beneficio respecto al anterior en unos \$0,7 Mm, pero por el contrario, el tiempo medio de espera de clientes se ha elevado hasta 7,28 días.

El tiempo máximo es muy alto, de 15,73 días y son 6 los clientes que tendrían que esperar más de 10 días. Estos clientes representan el 8% de la demanda total.

Warehouse Capacity Cost \$8.842.500
 Warehouse Transaction Cost \$405.600
 Long Haul from Central \$923.014
 Long Haul to BBP \$1.027.463

WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Atlanta	0	\$0	0	\$0	242	\$0	\$0
2	Chicago	1.100.000	\$2.137.500	13.520	\$101.400	446	\$168.620	\$33.995
3	Cincinnati	0	\$0	0	\$0	250	\$0	\$0
4	Dallas	0	\$0	0	\$0	660	\$0	\$0
5	Kansas City	0	\$0	0	\$0	556	\$0	\$0
6	Los Angeles	800.000	\$1.845.000	13.520	\$101.400	2.025	\$513.488	\$103.522
7	Minneapolis	0	\$0	0	\$0	826	\$0	\$0
8	Nashville	1.900.000	\$2.917.500	13.520	\$101.400	0	\$0	\$0
9	New York City	900.000	\$1.942.500	13.520	\$101.400	892	\$240.906	\$48.568
10	Portland Or.	0	\$0	0	\$0	2.359	\$0	\$0
11	Salt Lake City	0	\$0	0	\$0	1.636	\$0	\$0
12	San Francisco	0	\$0	0	\$0	2.333	\$0	\$0
	Totals	4.700.000	\$8.842.500	54.080	\$405.600		\$923.014	\$186.085

Tabla 5.4-2 Detalle de costes por AR

El inventario permanece constante con respecto a anterior modelo, salvo en el stock de seguridad, que desciende notablemente. Pero dada la escasa repercusión en las cifras globales resultantes, consideramos que no se trata de una mejora respecto al modelo FER02.

Pipeline Stock from Central \$186.085
 Pipeline Stock to BPP \$206.558
 Cycle Stock \$1.360.646
 Safety Stock \$64.462

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Washington	1,47 %	1,40	3,00	2,33	7,58	14,32
2	No California	4,01 %	1,40	3,00	2,33	9,00	15,73
3	So California	6,02 %	1,40	3,00	0,00	0,00	4,40
4	Montana	0,21 %	1,40	3,00	2,33	6,45	13,18
5	Colorado	0,55 %	1,40	3,00	2,33	5,50	12,23
6	Arizona	0,17 %	1,40	3,00	2,33	1,16	7,89
7	Minnesota	2,33 %	0,72	3,00	3,50	0,91	8,13
8	Kansas	0,58 %	1,40	3,00	2,33	3,98	10,72
9	Texas	3,55 %	1,40	3,00	2,33	2,73	9,46
10	Michigan	13,16 %	2,72	3,00	1,75	1,14	8,60
11	Missouri	1,74 %	0,72	3,00	3,50	1,90	9,11
12	Louisiana	1,48 %	0,72	3,00	3,50	2,79	10,01
13	Indiana	19,16 %	0,72	3,00	0,00	0,00	3,72
14	Tennessee	3,14 %	2,72	3,00	0,00	0,00	5,72
15	Georgia	4,67 %	2,72	3,00	1,00	1,91	8,63
16	Florida	12,27 %	2,72	3,00	1,00	2,59	9,30
17	New England	1,03 %	0,91	3,00	2,33	2,58	8,82
18	New York	9,46 %	0,91	3,00	0,00	0,00	3,91
19	Pennsylvania	4,69 %	0,91	3,00	2,33	1,47	7,71
20	Virginia	2,46 %	0,91	3,00	2,33	0,80	7,04
21	Carolina	5,61 %	2,72	3,00	1,00	1,24	7,96
22	Ohio	2,24 %	2,72	3,00	1,00	0,56	7,27
	Wtd. Avg.	100,00 %	1,69	3,00	1,11	1,49	7,28

Tabla 5.4-3 Detalle de tiempos de espera RV

5.5. Modelo FER04: MÁXIMA REDUCCIÓN DE ALMACENES REGIONALES (0 AR): SISTEMA CENTRALIZADO O INDEPENDIENTE

Este modelo reduce al máximo el número de almacenes regionales, no los considera. Los tiempos de entrega estarán determinados por largas rutas de entrega.

Conceptualmente este modelo es el contrario al FER00, en él se ha probado que pasaría si todo es abastecido desde el almacén central. Evidentemente los costes de transportes "long haul" desde central aumentan, pero deben disminuir notablemente los costes de almacén. Se anulan por completo los costes de transporte desde almacén regional a los BBP, y aunque aumenta el stock de tránsito, pero nos evita tener que disponer de stock de seguridad y de ciclo.

Este modelo es denominado por algunos autores "sistema Centralizado o Independiente", por depender todas las entregas del propio almacén central. Estará muy determinado por la línea de producción y la capacidad de ese almacén, dependiendo del nivel de stock de seguridad que deseemos establecer.

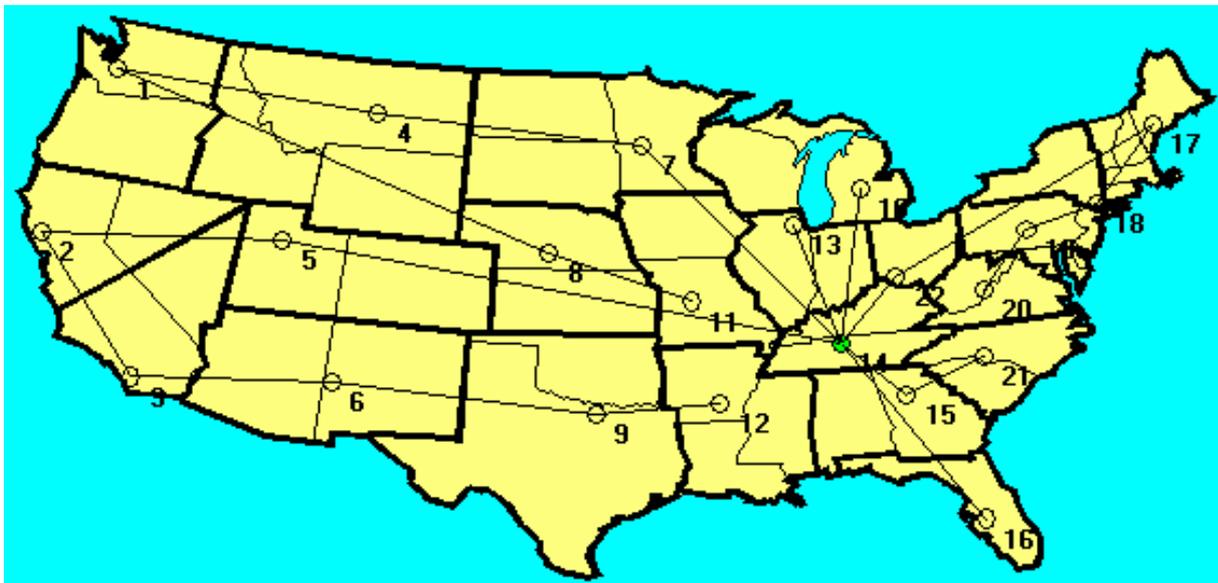


Ilustración 5.5-1: Almacenes Regionales, asignación de Regiones de Venta y rutas.

Los resultados generales de esta propuesta son:

Ingreso Anual Neto: \$25.516.064
 Espera media de clientes: 8,64 días.

Análisis de resultados del modelo FER04:

Los beneficios se han disparado (triplican los resultados del FER00 = \$7,7 MM.), pero a costa de aumentar la espera media de clientes, es decir, reducir la calidad del servicio prestado en un alto porcentaje.

Con este modelo se obtiene resultados mínimos en coste de capacidad de almacenes, representan solo una cuarta parte del FER00 (máximos almacenes). Debemos tener en cuenta que este es el coste determinante a la hora de sumar todos los componentes del sistema de distribución.

Warehouse Capacity Cost	\$5.160.000
Warehouse Transaction Cost	\$101.400
Long Haul from Central	\$0
Long Haul to BBP	No existen AR → \$0

También el coste de transacción en almacén se ha dividido por cuatro respecto al modelo acoplado o descentralizado que estudiábamos en el FER00, aunque este es de ínfima relevancia respecto al coste de capacidad.

Inicialmente puede sorprender que el coste "Long Haul", tanto desde central, como hasta BBP sea cero (0), parecía lógico que esta partida hubiese aumentado enormemente, ya que los recorridos desde almacén central hasta cada punto son muy largos. Pero los puntos finales ahora son directamente clientes, y no puntos de ruptura o BBP, por tanto únicamente existe ahora coste de transporte Short Haul (a destinatario final), es constante en el modelo en que se basa este software.

Parece evidente que para un mejor estudio debiera considerarse el coste por milla recorrida, y que estos costes realmente debieran encarecer el transporte notablemente. Si bien no se refleja en este software, se tendrá en cuenta en posterior análisis mediante algoritmos matemáticos.

También se anula el coste de stock de tránsito desde central, sin embargo aparece el mayor hasta ahora de los stock de tránsito a BBP.

Esto me lleva a pensar que efectivamente se ha producido un error en el cálculo del coste de transporte "Long Haul" a BBP.

Pipeline Stock from Central	\$0
Pipeline Stock to BPP	\$348.442
Cycle Stock	\$1.360.646
Safety Stock	\$47.297

El stock de seguridad es mínimo en este modelo, recordemos que en el modelo FER00 se superaban los \$912.000.

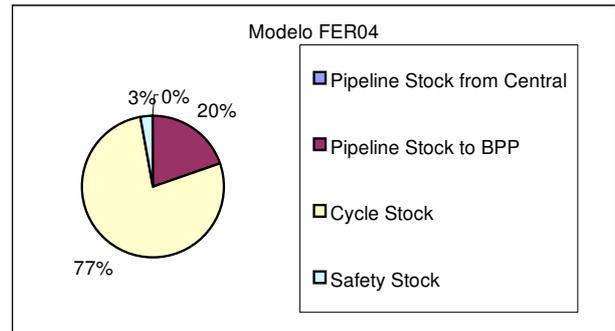


Ilustración 5.5-2 Composición de la demanda

Sales Revenue			\$84.292.473
CGS @ \$0,31/SqFt			\$50.538.269
Gross Profit			\$33.754.204
Warehouse Capacity Cost			\$5.160.000
Warehouse Transaction Cost			\$101.400
Transportation Cost:			
Long Haul from Central		\$0	
Long Haul to BBP		\$0	
Short Haul to Customers		\$2.625.463	
Total Transportation Cost			\$2.625.463
Inventory Investment:			
Pipeline Stock from Central	\$0		
Pipeline Stock to BPP	\$348.442		
Cycle Stock	\$1.360.646		
Safety Stock	\$47.297		
Total Inventory Investment		\$1.756.385	
Investment Finance Cost @ 20,0%			\$351.277
Total Distribution System Cost			\$8.238.140
Net Income Before Tax			\$25.516.064

Tabla 5.5-1 Cuadro resumen de resultados económicos.

WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Atlanta	0	\$0	0	\$0	242	\$0	\$0
2	Chicago	0	\$0	0	\$0	446	\$0	\$0
3	Cincinnati	0	\$0	0	\$0	250	\$0	\$0
4	Dallas	0	\$0	0	\$0	660	\$0	\$0
5	Kansas City	0	\$0	0	\$0	556	\$0	\$0
6	Los Angeles	0	\$0	0	\$0	2.025	\$0	\$0
7	Minneapolis	0	\$0	0	\$0	826	\$0	\$0
8	Nashville	4.500.000	\$5.160.000	13.520	\$101.400	0	\$0	\$0
9	New York City	0	\$0	0	\$0	892	\$0	\$0
10	Portland Or.	0	\$0	0	\$0	2.359	\$0	\$0
11	Salt Lake City	0	\$0	0	\$0	1.636	\$0	\$0
12	San Francisco	0	\$0	0	\$0	2.333	\$0	\$0
	Totals	4.500.000	\$5.160.000	13.520	\$101.400		\$0	\$0

Ilustración 5.5-3 Desglose de costes por AR

Obviando el error anterior (que creo que puede ser determinante), este modelo se perfila como un generador claro de objetivos, pero la calidad del servicio presenta un claro declive, lo que a medio plazo podría provocar la pérdida de ingresos por clientes no satisfechos.

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Washington	1,47 %	1,55	3,00	3,50	4,77	12,82
2	No California	4,01 %	1,55	3,00	1,40	5,31	11,25
3	So California	6,02 %	1,55	3,00	1,40	6,15	12,10
4	Montana	0,21 %	1,55	3,00	3,50	3,64	11,68
5	Colorado	0,55 %	1,55	3,00	1,40	3,64	9,58
6	Arizona	0,17 %	1,55	3,00	1,40	7,30	13,25
7	Minnesota	2,33 %	1,55	3,00	3,50	1,84	9,88
8	Kansas	0,58 %	1,55	3,00	3,50	7,39	15,44
9	Texas	3,55 %	1,55	3,00	1,40	8,88	14,82
10	Michigan	13,16 %	1,55	3,00	1,75	1,14	7,43
11	Missouri	1,74 %	1,55	3,00	3,50	7,95	15,99
12	Louisiana	1,48 %	1,55	3,00	1,40	9,43	15,38
13	Indiana	19,16 %	1,55	3,00	1,17	0,99	6,70
14	Tennessee	3,14 %	1,55	3,00	0,00	0,00	4,55
15	Georgia	4,67 %	1,55	3,00	2,33	0,54	7,42
16	Florida	12,27 %	1,55	3,00	1,75	1,33	7,63
17	New England	1,03 %	1,55	3,00	1,17	2,33	8,04
18	New York	9,46 %	1,55	3,00	1,17	2,80	8,51
19	Pennsylvania	4,69 %	1,55	3,00	1,17	3,13	8,84
20	Virginia	2,46 %	1,55	3,00	1,17	3,80	9,51
21	Carolina	5,61 %	1,55	3,00	2,33	1,21	8,09
22	Ohio	2,24 %	1,55	3,00	1,17	0,56	6,27
	Wtd. Avg.	100,00 %	1,55	3,00	1,58	2,51	8,64

Tabla 5.5-2 Detalle de tiempos de espera RV

Aparecen ya 9 clientes con esperas medias superiores a 10 días. El máximo de espera llega a 15,99 días, y además representa el 19,23% de la demanda total. A pesar de estos datos la espera continúa estando por debajo de 9 días (8,64), gracias a que las regiones de venta con mayores demandas están siendo atendidas en tiempos mínimos (en base a una priorización de estas RV en las rutas diseñadas).

5.6. Modelo FER05: DESCENTRALIZACION ZONA OESTE SOLO UN ALMACEN REGIONAL (1 AR)

Con este modelo pretendemos alcanzar altos beneficios y suplir la falta de servicio que se producía en el modelo anterior en una zona geográfica muy clara, en concreto, la zona oeste. Esta zona quedaba claramente desfavorecida, dependiente de largas rutas desde almacén central que elevaban los tiempos de entrega notablemente. Se apreciaba claramente que las regiones de venta con mayor demanda, concentradas en el este, estaban mejor abastecidas que las del oeste.

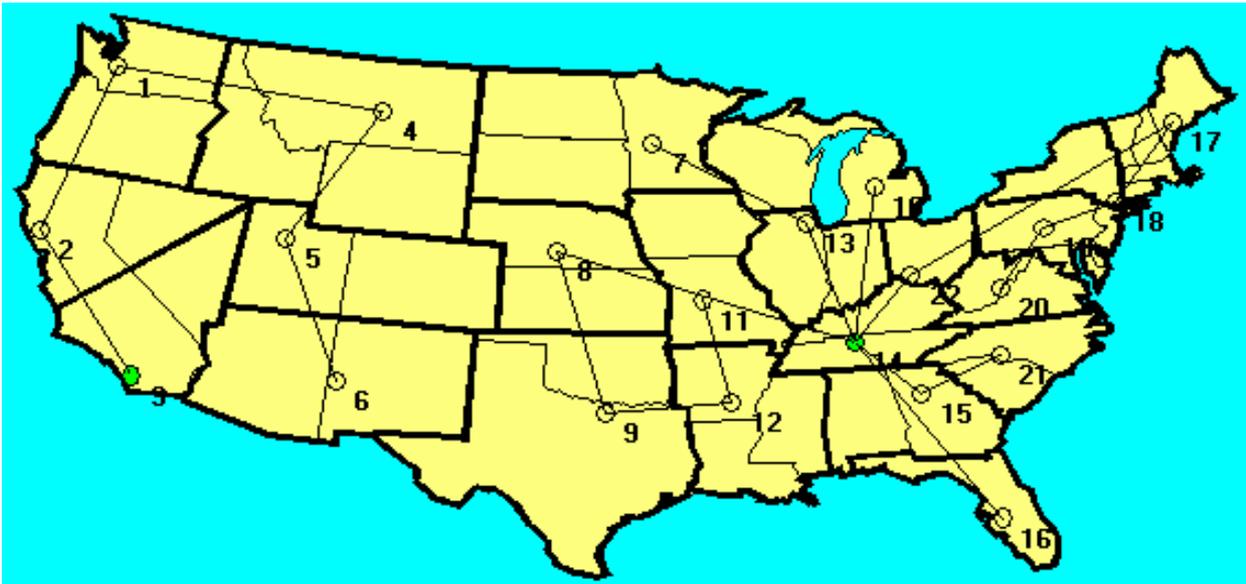


Ilustración 5.6-1: Almacenes Regionales, asignación de Regiones de Venta y rutas.

Disponer de un almacén regional en Los Ángeles permitirá corregir el tiempo medio de espera y su distribución se podrá realizar mediante esta ruta específica, que como veremos en el apartado correspondiente, podrá ser optimizada o comprobada mediante métodos heurísticos (Clark & Wright). Por otro lado, las regiones de venta correspondientes al centro - oeste del país son divididas en rutas en función de las demandas específicas de cada región o agrupándolas buscando un equilibrio en la demanda a la hora de diseñar estas rutas, respetando siempre los valores máximos (capacidad de camión, nº de viajes por ruta) que establece el programa WLD.

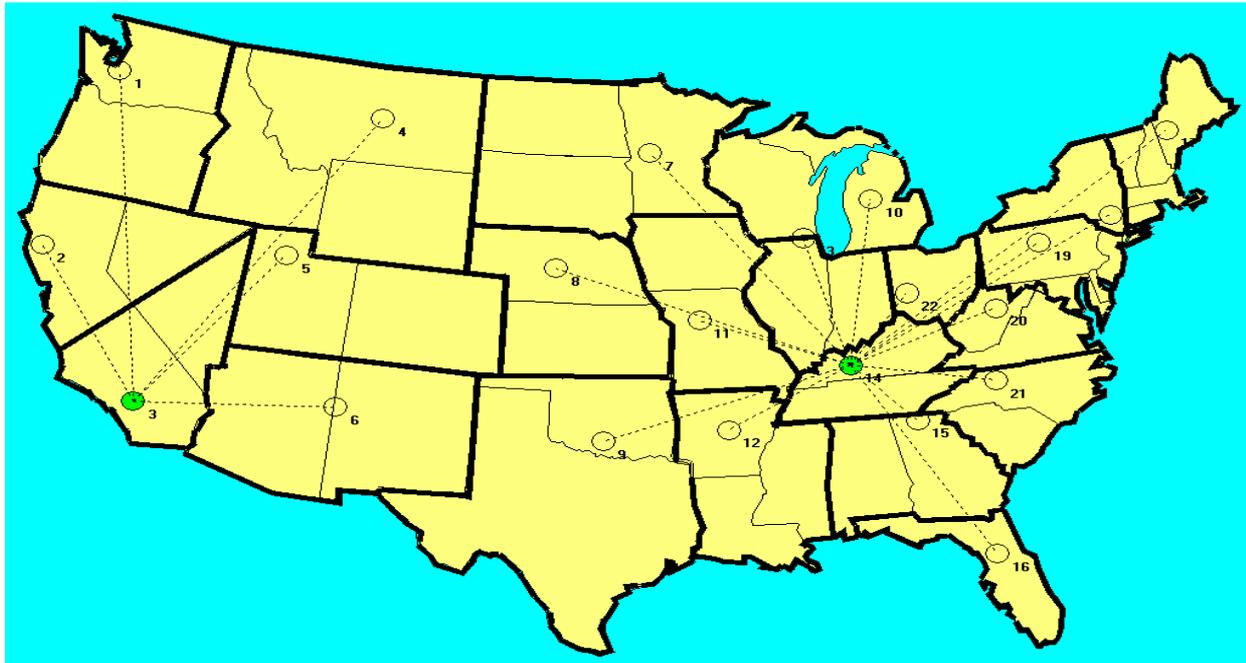


Ilustración 5.6-2 Almacenes Regionales, asignación de Regiones de Venta.

Sales Revenue			\$84.292.473	
CGS @ \$0,31/SqFt			\$50.538.269	
Gross Profit				\$33.754.204
Warehouse Capacity Cost			\$6.780.000	
Warehouse Transaction Cost			\$202.800	
Transportation Cost:				
Long Haul from Central		\$385.505		
Long Haul to BBP		\$271.497		
Short Haul to Customers		\$2.625.463		
Total Transportation Cost			\$3.282.465	
Inventory Investment:				
Pipeline Stock from Central	\$77.719			
Pipeline Stock to BPP	\$213.480			
Cycle Stock	\$1.360.646			
Safety Stock	\$175.396			
Total Inventory Investment		\$1.827.241		
Investment Finance Cost @ 20,0%			\$365.448	
Total Distribution System Cost				\$10.630.713
Net Income Before Tax				\$23.123.491

Tabla 5.6-1 Cuadro resumen de resultados económicos.

Los resultados generales de esta propuesta son:

Ingreso Anual Neto: \$23.123.713
 Espera media de clientes: 7,26 días

Análisis de resultados del modelo FER05:

Se sacrifican \$2,4Mm. de beneficio respecto anterior modelo para reducir la espera media de clientes de 8,64 a 7,26 días. Pero aunque a priori pueda parecer escaso beneficio en el servicio, como se verá más adelante, en el análisis cualitativo de la espera, veremos que sí puede merecer la pena.

Consideramos que este modelo ofrece altos beneficios y además una respuesta adecuada desde el punto de vista del cliente. Además, este tipo de implantación ESTE / OESTE permitirá seguir y conocer más de cerca los problemas de los clientes, contactos, negociaciones, etc.

El bajo número de almacenes, podríamos decir mínimo aceptable, también implica (si funcionan correctamente) capacidad de ampliar clientela y como consecuencia este tipo de infraestructuras de la empresa. Es decir, con este modelo tenemos oportunidades de crecimiento futuras, el servicio al cliente es bueno, y los beneficios altos.

Assign Demand to Routes							
Non-Warehouse Regions	Totals	Trips per Week	Total per Trip	Truck Utilization	Days Until Next Truck	Route Length (mi.)	Transport Cost (\$/yr)
Weekly Demand	2.820.516						
Unassigned Demand	0						
Route 1: 14-> 10	408.528	4	102.132	88,81 %	1,8	512	\$116.081
Route 2: 14-> 16	380.924	4	95.231	82,81 %	1,8	600	\$136.032
Route 3: 14-> 22-> 17-> 18-> 19-> 20	617.388	6	102.898	89,48 %	1,2	1.709	\$581.197
Route 4: 14-> 15-> 21	319.045	3	106.348	92,48 %	2,3	543	\$92.332
Route 5: 3-> 2-> 1-> 4-> 5-> 6	199.315	2	99.658	86,66 %	3,5	2.395	\$271.497
Route 6: 14-> 13-> 7	667.120	6	111.187	96,68 %	1,2	856	\$291.108
Route 7: 14-> 8-> 9-> 12-> 11	228.196	2	114.098	99,22 %	3,5	2.013	\$228.194

Tabla 5.6-3 Demanda por Rutas

Como se puede observar existen seis rutas que parten del almacén central (14), y otra ruta que distribuye a las regiones del oeste (la ruta 5)

De las rutas del centro-este, dos son largas y de baja demanda: la R5 y R7, que con dos viajes por semana satisfacen la demanda. Otras 3 son distribuyen cada una demanda que podríamos clasificar como media, centradas cada una en una región de ventas de alta demanda, con valores comprendidos entre 300.000 y 400.000, son las rutas: R1, R2 y R4. Finalmente, las rutas R3 y R6 presentan un número muy alto de viajes por semana, debido a abastecen a regiones de venta de altas demandas.

Warehouse Capacity Cost	\$6.780.000
Warehouse Transaction Cost	\$202.800
Long Haul from Central	\$385.505
Long Haul to BBP	\$271.497

Pipeline Stock from Central	\$77.719
Pipeline Stock to BPP	\$213.480
Cycle Stock	\$1.360.646
Safety Stock	\$175.396

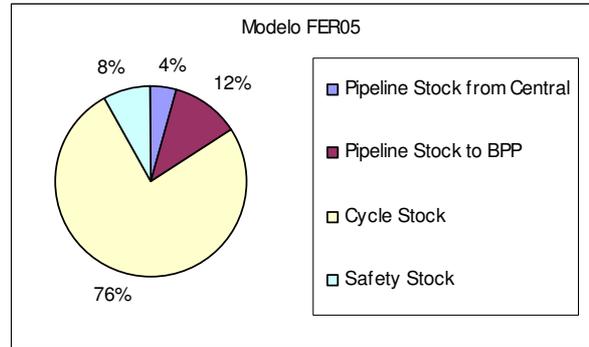


Ilustración 5.6-4 Composición de la demanda

WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Atlanta	0	\$0	0	\$0	242	\$0	\$0
2	Chicago	0	\$0	0	\$0	446	\$0	\$0
3	Cincinnati	0	\$0	0	\$0	250	\$0	\$0
4	Dallas	0	\$0	0	\$0	660	\$0	\$0
5	Kansas City	0	\$0	0	\$0	556	\$0	\$0
6	Los Angeles	800.000	\$1.845.000	13.520	\$101.400	2.025	\$385.505	\$77.719
7	Minneapolis	0	\$0	0	\$0	826	\$0	\$0
8	Nashville	4.200.000	\$4.935.000	13.520	\$101.400	0	\$0	\$0
9	New York City	0	\$0	0	\$0	892	\$0	\$0
10	Portland Or.	0	\$0	0	\$0	2.359	\$0	\$0
11	Salt Lake City	0	\$0	0	\$0	1.636	\$0	\$0
12	San Francisco	0	\$0	0	\$0	2.333	\$0	\$0
Totals		5.000.000	\$6.780.000	27.040	\$202.800		\$385.505	\$77.719

Tabla 5.6-6 Desglose de costes por AR

Los niveles de stock de seguridad según la clasificación de inventario en ABC son superiores o iguales al 90%.

Warehouses	Capacity x 100000 SqFt	Trips per Week From Central	Cycle Stock A Weeks of Supply	Cycle Stock B Weeks of Supply	Cycle Stock C Weeks of Supply	Target Fill Rate A	Target Fill Rate B	Target Fill Rate C
Los Angeles	8	3,36	2,0	4,0	12,0	92,0 %	91,0 %	90,0 %
Nashville (Central)	42	0,50	2,0	4,0	12,0	92,0 %	91,0 %	90,0 %

Tabla 5.6-5 Tipos de Stock en AC y AR

Warehouses	Cycle Stock A	Cycle Stock B	Cycle Stock C	Safety Stock A	Safety Stock B	Safety Stock C	Total Stock (SqFt)	Capacity Utilization
Los Angeles	\$96.718	\$36.269	\$36.269	\$39.992	\$31.681	\$8.778	797.787	99,72 %
Nashville (Central)	\$680.794	\$255.298	\$255.298	\$70.829	\$16.455	\$7.662	4.109.696	97,85 %
Totals	\$777.512	\$291.567	\$291.567	\$110.821	\$48.136	\$16.440	4.907.483	

Tabla 5.6-8 Id.anterior

La utilización de capacidad de almacenes, con estos niveles de stock es muy alta.

Warehouse Design and Policy Results						
Warehouses	Capacity Cost (\$/Yr)	Weekly Volume	Truck Util. (% of 115000)	Long Haul Cost From Central	Weeks Until Next Truck From Central	Estimated ReSupply Lead Time
Los Angeles	\$1.845.000	386.254	100,00 %	\$385.505	0,30	1,37
Nashville (Central)	\$4.935.000	2.718.825	0,00 %	\$0	2,00	2,43
Totals	\$6.780.000	3.105.079		\$385.505		

Tabla 5.6-9 Capacidad de almacenes

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Washington	1,47 %	0,47	3,00	3,50	2,26	9,22
2	No California	4,01 %	0,47	3,00	3,50	0,84	7,81
3	So California	6,02 %	0,47	3,00	0,00	0,00	3,47
4	Montana	0,21 %	0,47	3,00	3,50	3,39	10,36
5	Colorado	0,55 %	0,47	3,00	3,50	4,34	11,31
6	Arizona	0,17 %	0,47	3,00	3,50	5,32	12,29
7	Minnesota	2,33 %	1,15	3,00	1,17	1,90	7,22
8	Kansas	0,58 %	1,15	3,00	3,50	1,77	9,42
9	Texas	3,55 %	1,15	3,00	3,50	3,03	10,68
10	Michigan	13,16 %	1,15	3,00	1,75	1,14	7,04
11	Missouri	1,74 %	1,15	3,00	3,50	4,47	12,13
12	Louisiana	1,48 %	1,15	3,00	3,50	3,58	11,24
13	Indiana	19,16 %	1,15	3,00	1,17	0,99	6,31
14	Tennessee	3,14 %	1,15	3,00	0,00	0,00	4,15
15	Georgia	4,67 %	1,15	3,00	2,33	0,54	7,03
16	Florida	12,27 %	1,15	3,00	1,75	1,33	7,24
17	New England	1,03 %	1,15	3,00	1,17	2,33	7,65
18	New York	9,46 %	1,15	3,00	1,17	2,80	8,12
19	Pennsylvania	4,69 %	1,15	3,00	1,17	3,13	8,45
20	Virginia	2,46 %	1,15	3,00	1,17	3,80	9,12
21	Carolina	5,61 %	1,15	3,00	2,33	1,21	7,69
22	Ohio	2,24 %	1,15	3,00	1,17	0,56	5,88
	Wtd. Avg.	100,00 %	1,07	3,00	1,65	1,54	7,26

Tabla 5.6-10 Detalle de tiempos de espera RV

Como podemos observar en el cuadro de resultantes de tiempos de espera de regiones de venta, el porcentaje de demanda que supera los 10 días de espera es únicamente el 7,7%, son 6 clientes. Además el máximo valor de espera también representa una gran corrección respecto a anterior modelo.

5.7. Modelo FER06: SE MANTIENE DESCENTRALIZACION ZONA OESTE SOLO UN ALMACEN REGIONAL (1 AR). REESTUDIO DE NIVELES DE INVENTARIO

En el modelo FER06 se hace un estudio de inventario para optimizar los buenos resultados del modelo anterior FER05. Aumentar la capacidad de almacén es la respuesta al aumento del stock de seguridad y la frecuencia del número de camiones.

Por tanto, podríamos afirmar que la elevación de niveles de stock de seguridad para buscar mayor servicio es necesaria, pero debe tenerse en cuenta que las políticas de inventario más restrictivas en este aspecto son caras.

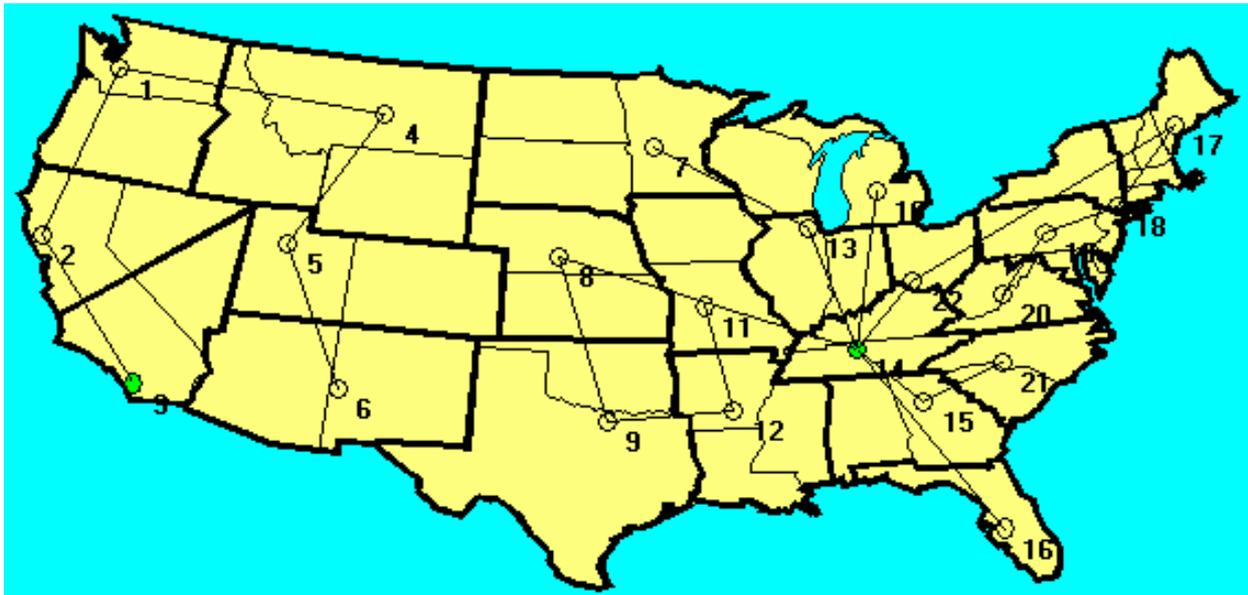


Ilustración 5.7-1 Almacenes Regionales, asignación de Regiones de Venta y rutas.

Sales Revenue			\$84.292.473
CGS @ \$0,31/SqFt			\$50.538.269
Gross Profit			\$33.754.204
Warehouse Capacity Cost			\$7.770.000
Warehouse Transaction Cost			\$202.800
Transportation Cost:			
Long Haul from Central		\$385.505	
Long Haul to BPP		\$271.497	
Short Haul to Customers		\$2.625.463	
Total Transportation Cost			\$3.282.465
Inventory Investment:			
Pipeline Stock from Central	\$77.719		
Pipeline Stock to BPP	\$213.480		
Cycle Stock	\$1.360.646		
Safety Stock	\$577.583		
Total Inventory Investment		\$2.229.428	
Investment Finance Cost @ 20,0%			\$445.886
Total Distribution System Cost			\$11.701.151
Net Income Before Tax			\$22.053.053

Tabla 5.7-1Cuadro resumen de resultados económicos.

Análisis de resultados del modelo FER06:

Los beneficios bajan en \$1,1 Mm., el mismo importe que se incrementa el coste de capacidad de almacén. Sin embargo, los días de espera media mejoran ligeramente respecto a anterior modelo, bajan a 6,67 días.

WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Atlanta	0	\$0	0	\$0	242	\$0	\$0
2	Chicago	0	\$0	0	\$0	446	\$0	\$0
3	Cincinnati	0	\$0	0	\$0	250	\$0	\$0
4	Dallas	0	\$0	0	\$0	660	\$0	\$0
5	Kansas City	0	\$0	0	\$0	556	\$0	\$0
6	Los Angeles	1.200.000	\$2.235.000	13.520	\$101.400	2.025	\$385.505	\$77.719
7	Minneapolis	0	\$0	0	\$0	826	\$0	\$0
8	Nashville	5.000.000	\$5.535.000	13.520	\$101.400	0	\$0	\$0
9	New York City	0	\$0	0	\$0	892	\$0	\$0
10	Portland Or.	0	\$0	0	\$0	2.359	\$0	\$0
11	Salt Lake City	0	\$0	0	\$0	1.636	\$0	\$0
12	San Francisco	0	\$0	0	\$0	2.333	\$0	\$0
	Totals	6.200.000	\$7.770.000	27.040	\$202.800		\$385.505	\$77.719

Tabla 5.7-2 Desglose de costes por AR

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Washington	1,47 %	0,19	3,00	3,50	2,26	8,94
2	No California	4,01 %	0,19	3,00	3,50	0,84	7,53
3	So California	6,02 %	0,19	3,00	0,00	0,00	3,19
4	Montana	0,21 %	0,19	3,00	3,50	3,39	10,08
5	Colorado	0,55 %	0,19	3,00	3,50	4,34	11,03
6	Arizona	0,17 %	0,19	3,00	3,50	5,32	12,01
7	Minnesota	2,33 %	0,53	3,00	1,17	1,90	6,60
8	Kansas	0,58 %	0,53	3,00	3,50	1,77	8,80
9	Texas	3,55 %	0,53	3,00	3,50	3,03	10,06
10	Michigan	13,16 %	0,53	3,00	1,75	1,14	6,42
11	Missouri	1,74 %	0,53	3,00	3,50	4,47	11,50
12	Louisiana	1,48 %	0,53	3,00	3,50	3,58	10,61
13	Indiana	19,16 %	0,53	3,00	1,17	0,99	5,69
14	Tennessee	3,14 %	0,53	3,00	0,00	0,00	3,53
15	Georgia	4,67 %	0,53	3,00	2,33	0,54	6,40
16	Florida	12,27 %	0,53	3,00	1,75	1,33	6,61
17	New England	1,03 %	0,53	3,00	1,17	2,33	7,03
18	New York	9,46 %	0,53	3,00	1,17	2,80	7,49
19	Pennsylvania	4,69 %	0,53	3,00	1,17	3,13	7,83
20	Virginia	2,46 %	0,53	3,00	1,17	3,80	8,49
21	Carolina	5,61 %	0,53	3,00	2,33	1,21	7,07
22	Ohio	2,24 %	0,53	3,00	1,17	0,56	5,25
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,49	3,00	1,65	1,54	6,67

Tabla 5.7-3 Detalle de tiempos de espera RV

Entre los resultados fundamentales de estos 7 modelos expuestos se realizará un análisis comparativo en siguientes apartados.

Posteriormente el mejor de los modelos resultante de la comparativa, será analizado sometido a modelos matemáticos y optimizado, resultando el modelo que finalmente propondremos, el FER07.

6. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PROPUESTO.

En primer lugar realizaremos una comparación centrada básicamente en resultantes económicas de los modelos, posteriormente añadiremos la componente que enfoca hacia el cliente: el servicio, entendido como el tiempo de espera media de clientes desde que se efectúa el pedido a su disposición en el BBP correspondiente. Será el análisis conjunto de estos resultados el que nos permita tomar la decisión sobre el modelo a elegir.

6.1. Rentabilidad de Canal.

En el siguiente cuadro veremos estos resultados económicos en detalle de cada uno de los modelos estudiados. La interpretación de cada concepto que lo compone se ha expuesto en el apartado 3.

RESULTADOS	Modelo FER00	Modelo FER01	Modelo FER02	Modelo FER03	Modelo FER04	Modelo FER05	Modelo FER06
Sales Revenue	\$84.292.473	\$84.292.473	\$84.292.473	\$84.292.473	\$84.292.473	\$84.292.473	\$84.292.473
CGS @ \$0,31/SqFt	\$50.538.269	\$50.538.269	\$50.538.269	\$50.538.269	\$50.538.269	\$50.538.269	\$50.538.269
Gross Profit	\$33.754.204	\$33.754.204	\$33.754.204	\$33.754.204	\$33.754.204	\$33.754.204	\$33.754.204
Warehouse Capacity Cost	\$20.385.000	\$14.662.500	\$9.427.500	\$8.842.500	\$5.160.000	\$6.780.000	\$7.770.000
Warehouse Transaction Cost	\$782.056	\$682.524	\$405.600	\$405.600	\$101.400	\$202.800	\$202.800
Long Haul from Central	\$1.203.418	\$988.900	\$990.843	\$923.014	\$0	\$385.505	\$385.505
Long Haul to BBP	\$524.290	\$723.010	\$1.027.891	\$1.027.891	\$0	\$271.497	\$271.497
Short Haul to Customers	\$2.625.463	\$2.625.463	\$2.625.463	\$2.625.463	\$2.625.463	\$2.625.463	\$2.625.463
Total Transportation Cost	\$4.353.171	\$4.337.373	\$4.644.197	\$4.576.368	\$2.625.463	\$3.282.465	\$3.282.465
Pipeline Stock from Central	\$197.811	\$199.369	\$186.085	\$186.085	\$0	\$77.719	\$77.719
Pipeline Stock to BPP	\$70.420	\$76.339	\$205.678	\$206.558	\$348.442	\$213.480	\$213.480
Cycle Stock	\$1.370.739	\$1.360.646	\$1.360.646	\$1.360.646	\$1.360.646	\$1.360.646	\$1.360.646
Safety Stock	\$912.995	\$463.756	\$194.981	\$64.462	\$47.297	\$175.396	\$577.583
Total Inventory Investment	\$2.551.965	\$2.100.110	\$1.947.390	\$1.817.751	\$1.756.385	\$1.827.241	\$2.229.428
Investment Finance Cost @ 20,0%	\$510.393	\$420.022	\$389.478	\$363.550	\$351.277	\$365.448	\$445.886
Total Distribution System Cost	\$26.030.620	\$20.102.419	\$14.866.775	\$14.188.018	\$8.238.140	\$10.630.713	\$11.701.151
Net Income Before Tax	\$7.723.584	\$13.651.785	\$18.887.429	\$19.566.186	\$25.516.064	\$23.123.491	\$22.053.053
Total valoración de stock	\$2.551.965	\$2.100.110	\$1.947.390	\$1.817.751	\$1.756.385	\$1.827.241	\$2.229.428
Tiempo de espera cliente	4,63	4,95	6,26	7,28	8,64	7,26	6,67

Tabla 6.1-1 Resumen de Resultados Económicos de Modelos Estudiados

Para este primer análisis bajo el punto de vista económico vamos a regirnos por el concepto **Rentabilidad del canal** a la hora de dirigirnos hacia una u otra propuesta, siempre que el nivel de servicio se mantenga en un margen adecuado.

$$R = (\text{coste de venta} - \text{coste de distribución}) / \text{coste de distribución}$$

RESULTADOS de Modelo:	Mod.FER00	Mod.FER01	Mod.FER02	Mod.FER03	Mod.FER04	Mod.FER05	Mod.FER06
Rentabilidad del Canal	29,7%	67,9%	127,0%	137,9%	309,7%	217,5%	188,5%

Tabla 6.1-2 Rentabilidad de Canal de Modelos Estudiados.

En principio, parecen más rentables los modelos FER04 y FER05, pero la distribución física trata de hacer llegar la mercancía debida (demanda) a los lugares apropiados (clientes) **en el tiempo oportuno** con el menor coste. Es difícil compaginar ambos conceptos en consonancia, con la mayor eficiencia: el mejor servicio con el menor coste.

Cada uno de los componentes del coste de distribución tiene pesos porcentuales diferentes según el modelo. En el siguiente gráfico se pueden observar como han ido reduciéndose los distintos componentes de coste a medida que se ha avanzado en el estudio de modelos mejores (representados en la zona superior de la gráfica).

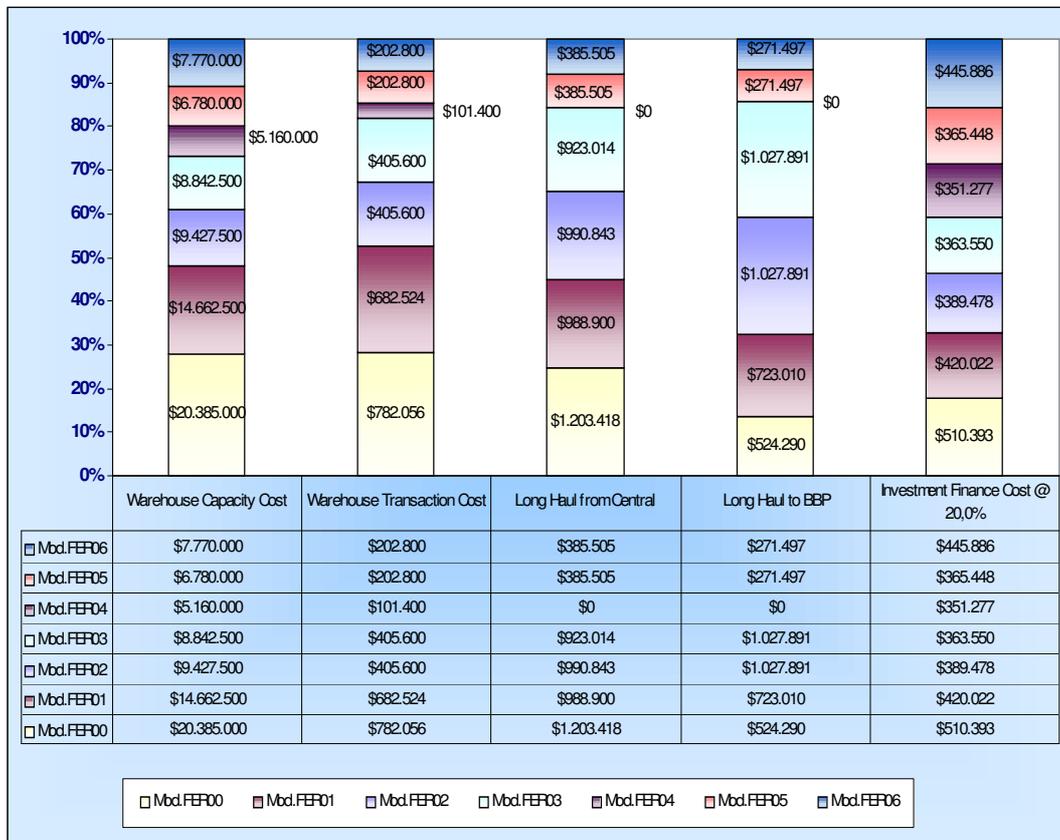


Ilustración 6.1-1 Componentes de costes de distribución según Modelos Estudiados.

6.2. Aproximación al Coste Total.

Hallar D (en nuestro caso: Total distribution system cost) en cada sistema propuesto y poder elegir el menor se denomina de "aproximación al coste total". No se trata de que cada sumando sea mínimo, sino que el sumatorio sea el mínimo para un cierto nivel de servicio.

$$D = FW + VW + T + S$$

Donde:

D: Coste total de la distribución

FW: coste total fijo de almacenamiento

VW: costes variables de almacenaje (incluido de inventario)

T: coste total del transporte

S: coste de ventas perdidas por retrasos en promedio de entregas

Debemos tener en cuenta que el componente "S" no se considera como valor económico en las resultantes del proyecto, pero debe estar muy presente en nuestra decisión sobre el modelo de distribución que debiéramos elegir entre los estudiados.

6.3. Costes de Almacenaje y de Transporte.

Como se puede observar, la parte principal de coste en estos tres modelos es provocada por el coste de capacidad de almacén. Ello nos hace pensar que efectivamente, resultan más rentables aquellos modelos que consideran un número mínimo número de almacenes, si bien la capacidad de éstos debe ser amplia, tanto para garantizar el suministro mediante stock de seguridad, como para evitar un colapso por falta de espacio ante la recepción de nuevos envíos.

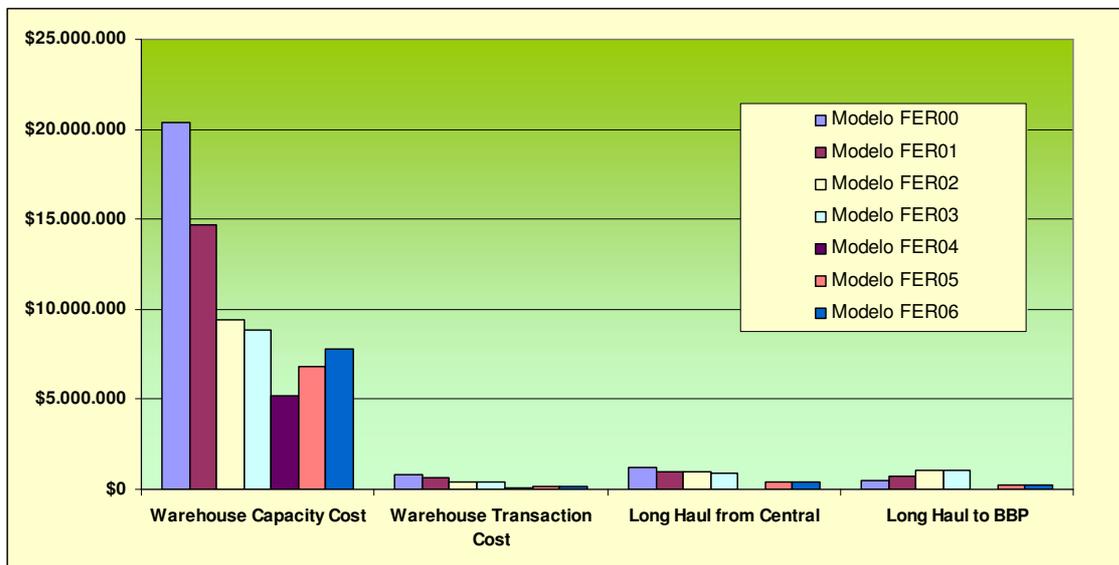


Ilustración 6.3-1 Distribución de costes

Del estudio comparativo entre costes derivados de almacenaje y costes derivados del transporte, llegamos a las siguientes conclusiones:

- El coste de capacidad de almacén es el mayor y determinante dentro de esta comparativa. El coste total de transporte en los modelos estudiados se mueve entre el 25% y 50% de éste. Y el coste de transacciones de almacén es casi "irrelevante".
 - El mínimo número de almacenes regionales es "fácilmente" subsanable si los plazos de entregas deben ser reducidos. Por el contrario, la reducción de costes de almacenes ya abiertos es "altamente complicada", pues conlleva:
 - Grandes costes para su establecimiento:
 - Inmobiliario:
 - Compras: alta inversión a largo plazo.
 - Alquileres: normalmente penalización por incumplimientos de contratos.
 - Mobiliario:
 - Equipos de transporte, estanterías, equipamiento ofimático...
 - Gran peso logístico asociado cada nuevo almacén:
 - Personal.
- Ilustración 6.3-2 Comparación de la composición del Coste de Distribución.
- Red de distribución
 - Cambios en el sistema de funcionamiento frente al cliente.

- Por tanto, deben colocarse los mínimos almacenes siempre que mantengan un nivel de servicio (tiempo de espera mínimo), por ello, es aconsejable abrir nuevos almacenes regionales únicamente con el objetivo de acortar plazos de entregas.

6.4. Análisis de niveles de Stock. Ley de Inventarios de la Raíz Cuadrada:

$$I = I_n / n^{0.5}$$

Donde

I= inventario

I_n= Inventario en n almacenes

n= n° de almacenes

	FER00	FER01	FER02	FER03	FER04	FER05	FER06
	12	8	4	4	1	2	2
Total anual ventas=demanda (SqFt)	156.387.608	156.387.608	156.387.608	156.387.608	156.387.608	156.387.608	156.387.608
Espera media resultante s/modelo:	4,63	4,95	6,26	7,28	8,64	7,26	6,67
Nº Entregas x año (365/Em)	78,83	73,74	58,31	50,14	42,25	50,28	54,72
Volumen medio por entrega (SqFt):	1.983.766	2.120.873	2.682.155	3.119.183	3.701.887	3.110.614	2.857.823

Ley de Inventarios de la raíz cuadrada: $I = I_n / n^{0.5}$

	$I_n = I \cdot n^{0.5}$						
n= 1	1.983.766	2.120.873	2.682.155	3.119.183	3.701.887	3.110.614	2.857.823
n= 2	2.805.469	2.999.367	3.793.139	4.411.191	5.235.259	4.399.072	4.041.572
n= 3	3.435.984	3.673.460	4.645.628	5.402.583	6.411.857	5.387.741	4.949.894
n= 4	3.967.532	4.241.746	5.364.309	6.238.366	7.403.775	6.221.228	5.715.646
n= 5	4.435.836	4.742.416	5.997.480	6.974.705	8.277.672	6.955.544	6.390.286
n= 6	4.859.215	5.195.057	6.569.910	7.640.407	9.067.735	7.619.417	7.000.208
n= 7	5.248.552	5.611.303	7.096.314	8.252.582	9.794.274	8.229.911	7.561.089
n= 8	5.610.938	5.998.735	7.586.279	8.822.382	10.470.519	8.798.144	8.083.144
n= 9	5.951.298	6.362.619	8.046.464	9.357.549	11.105.662	9.331.841	8.573.469
n= 10	6.273.219	6.706.789	8.481.718	9.863.723	11.706.396	9.836.625	9.037.229
n= 11	6.579.408	7.034.140	8.895.700	10.345.160	12.277.772	10.316.739	9.478.326
n= 12	6.871.967	7.346.920	9.291.256	10.805.167	12.823.714	10.775.482	9.899.789

Resultados del cálculo de modelos:

Coste de stock transito 1 s1	\$197.811	\$199.369	\$186.085	\$186.085	\$0	\$77.719	\$77.719
Coste de stock transito 2 s2	\$70.420	\$76.339	\$205.678	\$206.558	\$348.442	\$213.480	\$213.480
Coste de stock de ciclo s3	\$1.370.739	\$1.360.646	\$1.360.646	\$1.360.646	\$1.360.646	\$1.360.646	\$1.360.646
Coste de stock de seguridad s4	\$912.995	\$463.756	\$194.981	\$64.462	\$47.297	\$175.396	\$577.583
Coste inventarios s/WLD : Sc	\$2.551.965	\$2.100.110	\$1.947.390	\$1.817.751	\$1.756.385	\$1.827.241	\$2.229.428
Volumen inventarios (SqFt) Sv	8.153.243	6.709.617	6.221.693	5.807.511	5.611.454	5.837.831	7.122.773

Diferencias	1.281.275	710.882	857.384	-430.855	1.909.566	1.438.758	3.081.201
% calculado sobre teórico	119%	112%	116%	93%	152%	133%	176%

Tabla 6.4-1 Cálculo de Inventarios Teóricos

Las curvas teóricas resultantes para disponer de stock suficiente para soportar en cualquier momento el doble de pedido (según los tiempos de pedido y volúmenes previstos en cada modelo) son las siguientes:

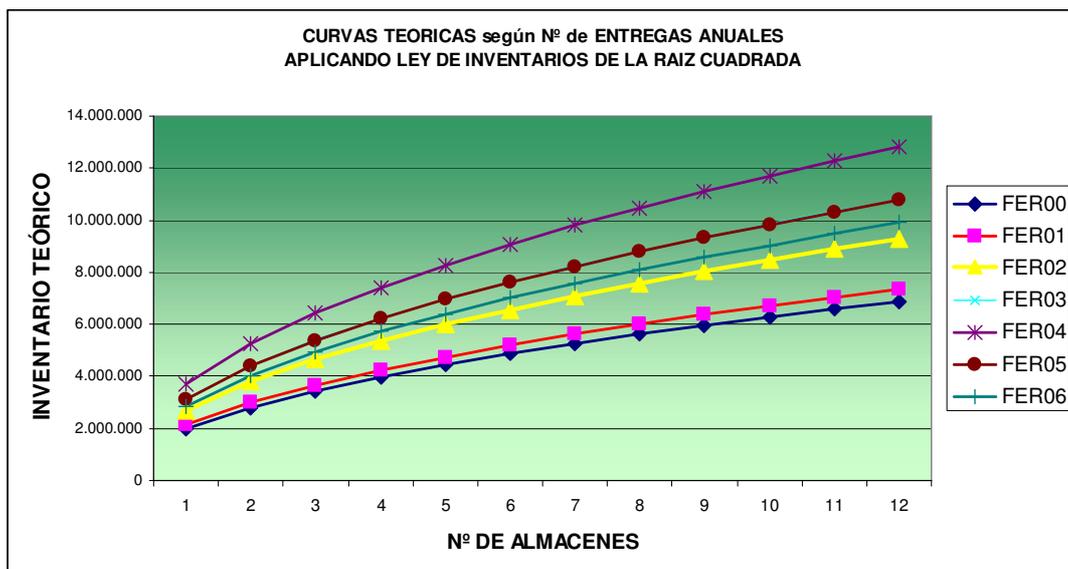


Ilustración 6.4-2 Curva de inventario teórico según Ley de Inventarios de la Raíz cuadrada.

Estas curvas muestran la función creciente de necesidad de inventario según el número de almacenes. De este análisis deducimos que el modelo FER03 no se puede considerar válido.

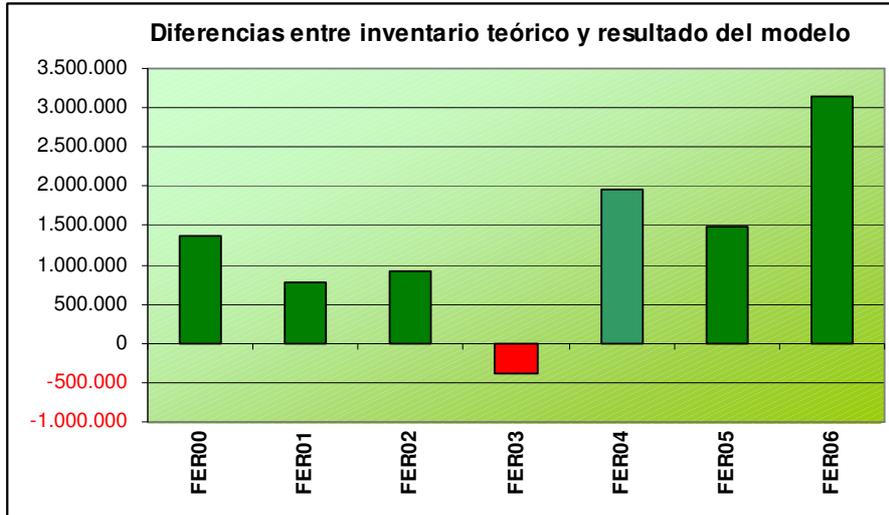


Ilustración 6.4-3 Diferencias entre niveles de inventario propuestos WLD y teóricos

6.5. Análisis comparativo del nivel de servicio vs. beneficio.

El servicio es el objetivo de la distribución. Se puede asimilar, en nuestro estudio, al número de días hasta la entrega. Teniendo en cuenta otros elementos, tales como: disponibilidad, tiempo de ciclo de pedidos, porcentaje de existencias acabadas, frecuencia de entregas y seguridad... todo ello es el "nivel de servicio" (William B. Saunders). Los beneficios de disponer de una respuesta rápida desde la fabricación y desde el pedido de cliente, hasta su entrega, será analizados expresamente en la segunda parte del proyecto.

Por supuesto, también componen el concepto de servicio otros parámetros muy importantes que no se analizan en el presente proyecto, pero que evidentemente tendrán que ser tenidos en cuenta por LPC a la hora de implantar cualquiera de los modelos: calidad del producto terminado, precio respecto al mercado, calidad en atención al cliente, imagen corporativa, etc....

Para tener una visión comparativa entre los costes del sistema de distribución y los tiempos de espera medios de cada uno de los modelos presentamos esta gráfica:

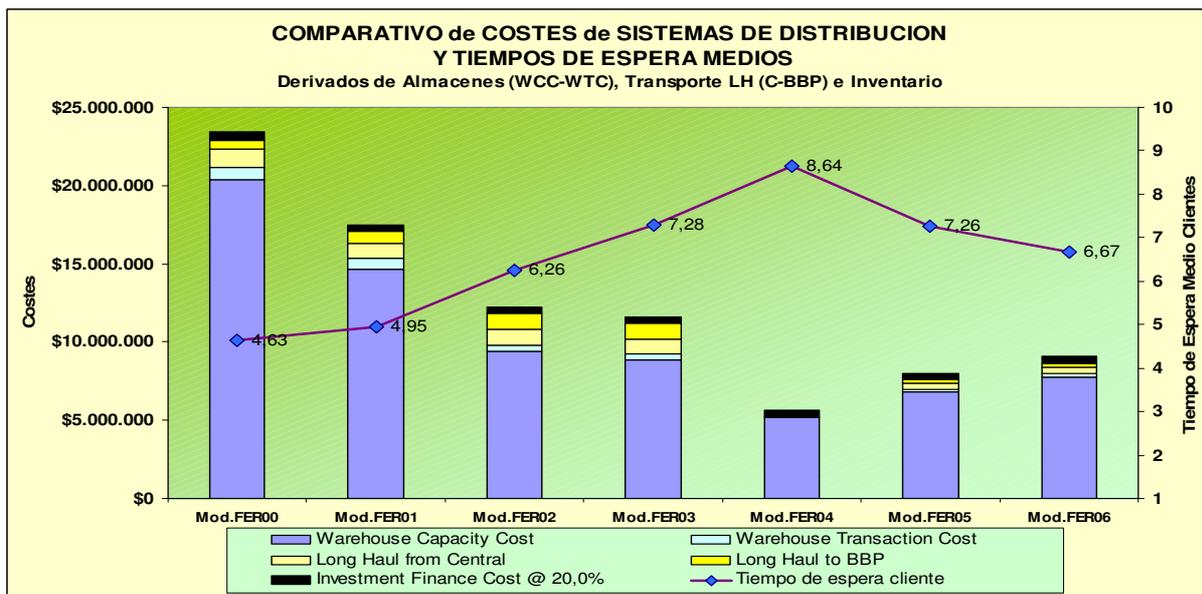


Ilustración 6.5-1 Comparativa Costes / Tiempos

- Coste de Capacidad de almacenes y Transacción en almacenes (azules)
- Coste de Transporte Long Haul desde central y hasta BBP (amarillos)
- Coste financiero de inventario, 20% sobre inventarios (negro)

El resultado óptimo dispondrá de “bajos” costes (histograma) y “bajos” tiempos medios de espera de clientes (curva). Debe observarse que el modelo donde estos dos valores son más bajos es el Modelo FER06.

Debido a que el principal componente que conforma el sistema de distribución es determinado por el coste de capacidad de almacén, especialmente cuando hemos optado por disponer de un reducido número de almacenes, se puede decir, que la política de inventarios determinará el modelo a elegir. Su importancia es determinante principalmente en el ratio de "tiempo medio de espera de cliente" es decir el nivel de servicio, pero también lo es en cuanto a las dimensiones requeridas de almacenaje.

En este otro gráfico, orientado a la rentabilidad de cada entrega frente al nivel de servicio se aprecia que en el último modelo estudiado FER06, cada unidad de día de espera de cliente le resulta más rentable a la empresa, aunque cada entrega, por sí misma, será menos rentable que en los dos modelos anteriores (FER04 y FER05).

Sin embargo, el tiempo de espera ha mejorado notablemente, se sitúa cercano al cuarto modelo (FER03). También nos orienta claramente sobre el modelo a elegir.

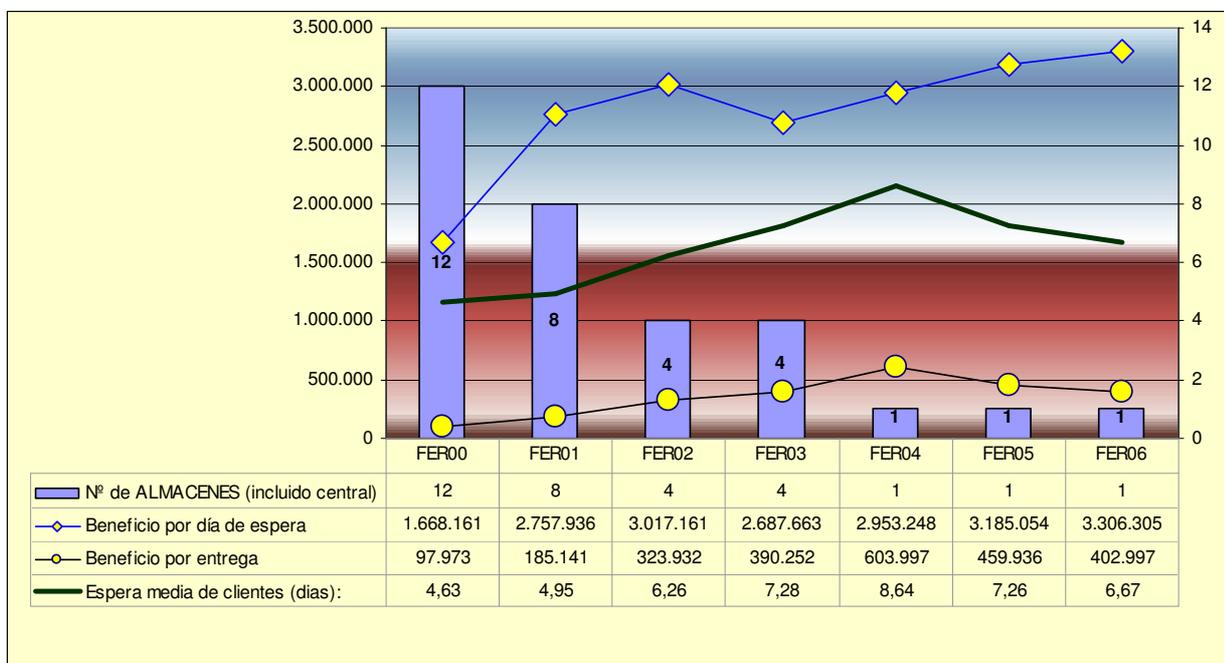


Ilustración 6.5-2 Rentabilidad por Día de Espera.

6.6. Selección del modelo a proponer

Basándonos en el siguiente cuadro podemos extraer conclusiones de los sistemas estudiados:

Tabla 6.6-1 Resumen de modelos.

Modelo de Sist.Distrib.	FER00	FER01	FER02	FER03	FER04	FER05	FER06
Espera media de clientes (días):	4,63	4,95	6,26	7,28	8,64	7,26	6,67
Nº de ALMACENES (incluido central)	12	8	4	4	1	2	2
Beneficios Antes de Impuestos (\$)	7.723.584	13.651.785	18.887.429	19.566.186	25.516.064	23.123.491	22.053.053
Rentabilidad del Canal de Distribución	29,7%	67,9%	127,0%	137,9%	309,7%	217,5%	188,5%
Nº Entregas anuales (frecuencia*)	78,83	73,74	58,31	50,14	42,25	50,28	54,72
Beneficio por día de espera	1.668.161	2.757.936	3.017.161	2.687.663	2.953.248	3.185.054	3.306.305
Beneficio por entrega	97.973	185.141	323.932	390.252	603.997	459.936	402.997

* 365 días / días espera media

En este gráfico se aprecia la relación entre los días de espera media de cliente entre el pedido y su disposición en el BBP (eje x) y el beneficio antes de impuestos (eje y). Como se puede observar la media de espera de los 7 casos estudiados se sitúa entre 6,26 días y 7,28 días.

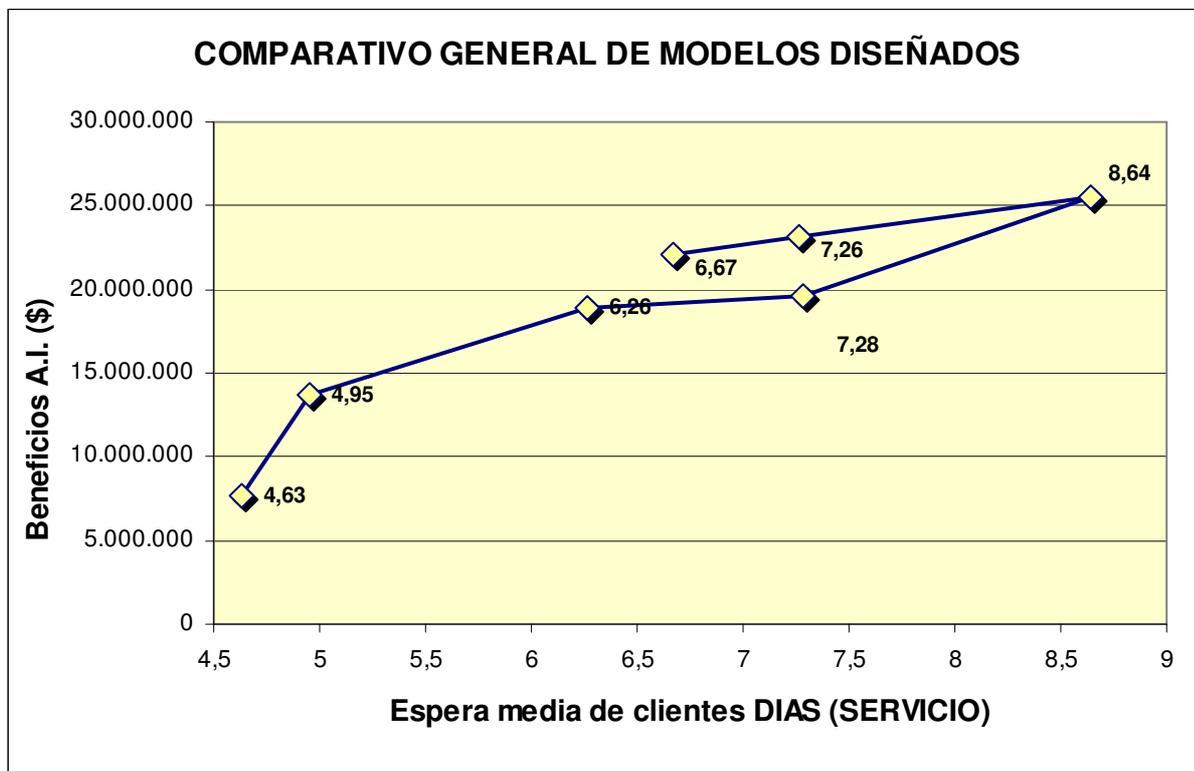


Ilustración 6.6-1 Comparativo General de Modelos Estudiados

La línea va uniendo cada uno de los modelos estudiados con el siguiente y “grosso modo” nos muestra el recorrido que hemos seguido para realizar el diseño del modelo a proponer.

Se aprecian en primer lugar, que hemos comenzado por un modelo (FER00) cuya espera era mínima, pero de escaso beneficio (alto riesgo ya que el número de almacenes era máximo, 12), por lo que hemos comenzado a buscar beneficio para la empresa disminuyendo el número de almacenes (en FER01 dejamos 7 almacenes).

Al ir centralizando y reduciendo el número de almacenes hasta 3 comenzamos a obtener unas mejores previsiones de beneficio, que se sitúan entre 18 y 20 Mm. (modelos FER02 y su variante FER03).

Eliminados todos los almacenes regionales (caso opuesto al inicial) vemos el límite del beneficio que podríamos alcanzar, unos 25 Mm. (Modelo FER04), pero a costa de un excesivo tiempo de espera de clientes, es decir, sacrificando nivel de servicio.

La primera corrección que se realiza en tiempo de servicio añadiendo otro almacén regional para la zona oeste es notable (modelo FER05), aunque se pierden parte de los altos beneficios.

En una segunda corrección sobre las políticas de inventario (mod.FER06) mediante el aumento de los almacenes en pro de una mayor disponibilidad de stock de seguridad para disminuir los tiempos de espera (aunque siguen descendiendo ligeramente los beneficios), obtenemos el modelo que estábamos buscando en el que se obtiene mayores prestaciones en la combinación coste / servicio, es decir el mayor equilibrio entre los intereses de la empresa y los del cliente.

Por tanto, el modelo inicialmente elegido es el FER06, pero antes de detallarlo será sometido a algunas técnicas que servirán para mejorarlo.

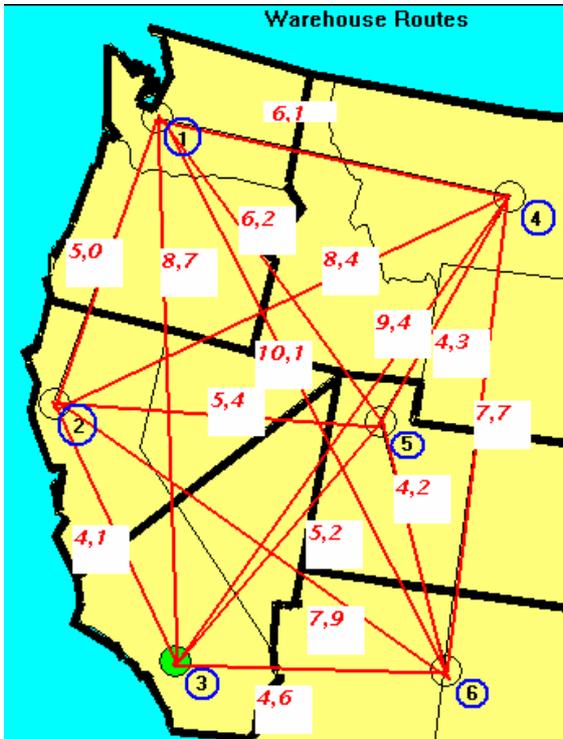
Las técnicas de mejora aplicadas sobre el modelo FER06 son las siguientes:

- **Cálculo de rutas: Heurístico de Clark & Wright.** Mediante este método heurístico trazaremos las mejores rutas posibles para la distribución, a la vista de los almacenes dispuestos.
- **Análisis de Pareto.** Se aplica para permitirnos una mejora clara del nivel de stock de seguridad del sistema. Identificaremos la importancia de la demanda que se encuentra en tiempo de espera de clientes que podríamos denominar límite, y propondremos alguna corrección de frecuencia de viajes para mejorar el servicio al cliente.
- **Diagrama de Gantt.** Representando las actividades que componen el sistema de distribución en el tiempo, podremos ver la carga y necesidad de recursos determinantes. Nos centraremos en el número de camiones en ruta para ver, a la vista del comportamiento de un ciclo, cómo podríamos reducir los costes de la empresa o mejorar la subcontratación de esta actividad.
- **Cálculo de niveles de stock de seguridad.** Se determinará para el ejemplo en cuestión el stock de seguridad necesario.

De estos ensayos resultará el modelo FER07 que se detalla expresamente a continuación por ser el SISTEMA PROPUESTO.

6.7. Aplicación de métodos para la mejora de la solución a proponer.

6.7.1. Problema del Agente Viajero



Aplicaremos el heurístico al problema siguiente (ruta oeste del FER06, base del FER07). Dado que se trata de encontrar rutas óptimas, las distancias que se utilizan pueden ser relativas, por tanto, sobre una medición en cm. sobre este plano procedemos a buscar la mejor ruta entre las regiones de venta 1 a 6 de nuestro sistema:

Escogemos el primer par de puntos ($k=2$).

$$i_1 = "3" \quad i_2 = "5",$$

Seleccionamos "2" como un punto que no está en la lista o ruta. $h = "2"$.

Calculamos d_j para $j=1,2$.

$$\text{Para } j = 1: d_1 = 4,1 + 5,4 - 5,2 = 4,3.$$

$$\text{Para } j = 2 = k: d_2 = 5,4 + 4,1 - 5,2 = 4,3.$$

Al ser iguales (siempre en la primera vez) nos seleccionamos d_1 , por lo que $j^* = 1$.

Ilustración 6.7.1. Distancias para cálculo de ruta oeste

La nueva ruta es ahora $i_1="3"$, $i_2="2"$, $i_3="5"$.

Dado que $(k+1) = 3 < n = 6$,
 $k = 3$, se continúa con el algoritmo.

Escogemos un nuevo punto: "1". Calculamos d_j para $j=1,2,3$. (que son "3"--> "2"-->"5")

$$\text{Para } j = 1: d_1 = 8,7 + 5,4 - 4,1 = 9,6.$$

$$\text{Para } j = 2: d_2 = 5 + 6,2 - 5,4 = 5,8. \leftarrow \text{menor}$$

$$\text{Para } j = 3 = k: d_3 = 6,2 + 8,7 - 5,2 = 9,7.$$

El mínimo es d_2 , por lo que $j^* = 2$ --> el 2º punto de la ruta era el "1" es mejor desde el punto "2". El nuevo recorrido es por tanto

$$i_1="3", i_2="2", i_3="1", i_4="5".$$

Como $(k+1) = 4 < n = 6$, se continúa. $k = 4$. Elegimos un nuevo punto, el "4"

$$\text{Para } j = 1: d_1 = 9,4 + 8,4 - 4,1 = 13,7$$

$$\text{Para } j = 2: d_2 = 8,4 + 6,1 - 5 = 9,5$$

$$\text{Para } j = 3: d_3 = 6,1 + 4,3 - 6,2 = 4,2 \quad \leftarrow \text{menor, corresponde a punto "1"}$$

$$\text{Para } j = 4 = k: d_4 = 4,3 + 9,4 - 5,2 = 8,5$$

El mínimo es d_3 , por lo que $j^* = 3$.

Es decir, para ir al nuevo punto "4", lo mejor es incluirlo tras el "1" (que era el $j=3$, es decir, el tercer punto de la ruta), con lo que la nueva ruta queda:

$$i_1="3", i_2="2", i_3="1", i_4="4", i_5="5".$$

Como $(k+1) = 5 < n = 6$, se continúa. $k = 5$. Elegimos el nuevo punto, el "6"

Para $j = 1$: $d_1 = 4,6+7,9-4,1=8,4$

Para $j = 2$: $d_2 = 7,9+10,1-5=13$

Para $j = 3$: $d_3 = 10,1+7,7-6,1=11,7$

Para $j = 4$: $d_4 = 7,7+4,2-4,3=7,6$

Para $j = 5 = k$: $d_5 = 4,2+4,6-5,2=3,6$ <-- menor, corresponde a punto "5"

Es decir, para ir al punto "6" desde la ruta anterior, es mejor ir desde el "5", por tanto la ruta definitiva queda así:

$i_1="3"$, $i_2="2"$, $i_3="1"$, $i_4="4"$, $i_5="5"$, $i_6="6"$.

La ruta obtenida mediante este algoritmo no es siempre la óptima, ya que la solución dependerá de los puntos iniciales escogidos. Una buena estrategia es aplicar el algoritmo considerando varios puntos diferentes iniciales y escoger la ruta con la mínima distancia.

En el caso que hemos probado el origen y destino es el mismo, el almacén regional (RV=3) de So California, cuya selección se hizo (para abastecer a la zona oeste) debido a que presentaba la mayor demanda.

6.7.2. Análisis de PARETO para aumentar el nivel de servicio (reduciendo esperas máximas).

El análisis de Pareto¹ es una comparación ordenada de factores relativos a un problema. Esta comparación nos va a ayudar a identificar y enfocar los pocos factores vitales diferenciándolos de los muchos factores útiles. Esta herramienta es especialmente valiosa en la Asignación de prioridades a los problemas de calidad, en el Diagnóstico de Causas y en la Solución de las mismas.

Cómo interpretar un análisis de Pareto:

El objetivo es utilizar los hechos para encontrar la máxima concentración de potencial de mejora con el mínimo número de soluciones, separando los pocos elementos pero vitales relativos al problema, de los muchos y útiles. El equipo responsable del proyecto identificará los elementos vitales mediante el porcentaje acumulado del total, que nos dirá qué elementos (pocos) contribuyen en el problema en un alto porcentaje. Normalmente, este bajo número de elementos, sobre el 20%, constituirá aproximadamente un 80% del problema. La solución se focaliza entonces en estos pocos elementos, pero vitales, separados del resto por un Punto de Inflexión en el gráfico lineal del porcentaje acumulado del total.

Cómo elaborar un análisis de Pareto:

1. Cuantificar los factores del problema y sumar los efectos parciales hallando el total.
2. Reordenar los elementos de mayor a menor.
3. Determinar el % acumulado del total para cada elemento de la lista ordenada.
4. Trazar y rotular el eje vertical izquierdo (unidades).
5. Trazar y rotular el eje horizontal (elementos).

¹ Pareto era un economista genovés que se dedicó a estudiar la distribución de la tierra en Génova y alrededores y descubrió que el 5 por ciento de la población era dueña de aproximadamente el 80 por ciento de la tierra. Había un 15 por ciento adicional de la población que era dueña del 10 por ciento de la tierra. Y el 80 por ciento restante de la población era dueña del 5 por ciento de la tierra. Posteriormente, se llegó a la conclusión que este análisis sirve para separar entre los pocos Vitales y los muchos de Menor Importancia. Si se saca este concepto del entorno social al que estaba referido, se comprueba que en casi todos los órdenes de la vida exista una relación similar. En nuestra vida cotidiana, sólo tres cosas, dormir, trabajar y viajar representan el 80 por ciento de nuestro tiempo cotidiano. Después tal vez exista un conjunto de tres o cuatro actividades más donde empleamos el 15 por ciento de nuestro tiempo y todo lo demás que hacemos nos ocupa el 5 por ciento de tiempo restante. Por la misma vía de razonamiento, si se realiza el análisis de la clientela de una empresa, se puede llegar a la conclusión de que un muy pequeño grupo de clientes constituye el 80 por ciento de las ventas de esa empresa. Esto es particularmente observable en los productos de consumo masivo.

6. Trazar y rotular el eje vertical derecho (porcentajes).
7. Dibujar las barras correspondientes a cada elemento.
8. Trazar un gráfico lineal representando el porcentaje acumulado.
9. Analizar el diagrama localizando el "Punto de inflexión" en este último gráfico.

Otro caso es si se quiere bajar el costo de inventario de una empresa. No se puede empezar diciendo "bajemos a la mitad nuestro stock de repuestos". Esto es así porque hay elementos, por ejemplo tornillería, que casi ni son costos. Pero puede haber otro elemento de muy alto precio, donde tenemos que reemplazar el stock, lo que exige un muy buen estudio de la frecuencia con que usa ese elemento.

Pasando a otro terreno, si se quiere hacer una promoción de ventas porque existe un compromiso de incrementar las ventas de la empresa, el esfuerzo debe dirigirse hacia un objetivo preciso. La pregunta es ¿hacia dónde? Según venimos analizando, con un pequeño aumento dentro de ese grupo que representa el 5 por ciento de los clientes que constituye el 80 por ciento de la venta, aumentarán mucho más las ventas que si se dirige al esfuerzo a duplicar las ventas de aquel grupo que sólo significa el 5 por ciento de las ventas.

En este cuadro intermedio del FER07, una vez corregidos los niveles de stock, dando preferencia a una mayor disponibilidad de nivel A sobre el B y C, y de nivel B sobre C se aprecian los tiempos de espera cuya media no termina de satisfacerlos y vamos a tratar de mejorar mediante un ANALISIS DE PARETO.

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Washington	1,47 %	0,08	3,00	3,50	2,26	8,84
2	No California	4,01 %	0,08	3,00	3,50	0,84	7,43
3	So California	6,02 %	0,08	3,00	0,00	0,00	3,08
4	Montana	0,21 %	0,08	3,00	3,50	3,39	9,97
5	Colorado	0,55 %	0,08	3,00	3,50	4,34	10,93
6	Arizona	0,17 %	0,08	3,00	3,50	5,32	11,91
7	Minnesota	2,33 %	0,26	3,00	1,17	1,90	6,33
8	Kansas	0,58 %	0,26	3,00	3,50	1,77	8,53
9	Texas	3,55 %	0,26	3,00	3,50	3,03	9,79
10	Michigan	13,16 %	0,26	3,00	1,75	1,14	6,15
11	Missouri	1,74 %	0,26	3,00	3,50	4,47	11,24
12	Louisiana	1,48 %	0,26	3,00	3,50	3,58	10,34
13	Indiana	19,16 %	0,26	3,00	1,17	0,99	5,42
14	Tennessee	3,14 %	0,26	3,00	0,00	0,00	3,26
15	Georgia	4,67 %	0,26	3,00	2,33	0,54	6,13
16	Florida	12,27 %	0,26	3,00	1,75	1,33	6,35
17	New England	1,03 %	0,26	3,00	1,17	2,33	6,76
18	New York	9,46 %	0,26	3,00	1,17	2,80	7,23
19	Pennsylvania	4,69 %	0,26	3,00	1,17	3,13	7,56
20	Virginia	2,46 %	0,26	3,00	1,17	3,80	8,23
21	Carolina	5,61 %	0,26	3,00	2,33	1,21	6,80
22	Ohio	2,24 %	0,26	3,00	1,17	0,56	4,98
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,24	3,00	1,65	1,54	6,43

Tabla 6.7.2-1 Detalles de tiempos de espera por RV

Queremos mejorar el comportamiento en tiempo de espera medio del sistema, ya que hemos llegado a niveles de utilización de almacenes máximo, también una alta tasa de llenado de almacenes y unos tiempos de suministro de stock de ciclo adecuados a las distintas categorías de inventario. En primer lugar procederemos a organizar los datos que queremos mejorar:

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)	Retraso s/media (días)
9	Texas	3,55%	0,26	3	3,5	3,03	9,79	3,36
11	Missouri	1,74%	0,26	3	3,5	4,47	11,23	4,8
18	New York	9,46%	0,26	3	1,17	2,8	7,23	0,8
12	Louisiana	1,48%	0,26	3	3,5	3,58	10,34	3,91
19	Pennsylvania	4,69%	0,26	3	1,17	3,13	7,56	1,13
20	Virginia	2,46%	0,26	3	1,17	3,8	8,23	1,8
2	No California	4,01%	0,08	3	3,5	0,84	7,42	0,99
1	Washington	1,47%	0,08	3	3,5	2,26	8,84	2,41
5	Colorado	0,55%	0,08	3	3,5	4,34	10,92	4,49
21	Carolina	5,61%	0,26	3	2,33	1,21	6,8	0,37
8	Kansas	0,58%	0,26	3	3,5	1,77	8,53	2,1
6	Arizona	0,17%	0,08	3	3,5	5,32	11,9	5,47
4	Montana	0,21%	0,08	3	3,5	3,39	9,97	3,54
17	New England	1,03%	0,26	3	1,17	2,33	6,76	0,33
7	Minnesota	2,33%	0,26	3	1,17	1,9	6,33	-0,1
16	Florida	12,27%	0,26	3	1,75	1,33	6,34	-0,09
15	Georgia	4,67%	0,26	3	2,33	0,54	6,13	-0,3
22	Ohio	2,24%	0,26	3	1,17	0,56	4,99	-1,44
10	Michigan	13,16%	0,26	3	1,75	1,14	6,15	-0,28
14	Tennessee	3,14%	0,26	3	0	0	3,26	-3,17
13	Indiana	19,16%	0,26	3	1,17	0,99	5,42	-1,01
3	So California	6,02%	0,08	3	0	0	3,08	-3,35
Wtd. Avg.	100,00%	0,24	3	1,65	1,54	6,43		

Tabla 6.7.2-2 Ordenación de datos. Análisis de Pareto

Nos centraremos en los almacenes que sufren retraso respecto a la media, pero bajo el punto de vista de la demanda.

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)	Retraso s/media (días)	Demanda retrasada (por almacén)
9	Texas	3,55%	0,26	3	3,5	3,03	9,79	3,36	12%
11	Missouri	1,74%	0,26	3	3,5	4,47	11,23	4,8	8%
18	New York	9,46%	0,26	3	1,17	2,8	7,23	0,8	8%
12	Louisiana	1,48%	0,26	3	3,5	3,58	10,34	3,91	6%
19	Pennsylvania	4,69%	0,26	3	1,17	3,13	7,56	1,13	5%
20	Virginia	2,46%	0,26	3	1,17	3,8	8,23	1,8	4%
2	No California	4,01%	0,08	3	3,5	0,84	7,42	0,99	4%
1	Washington	1,47%	0,08	3	3,5	2,26	8,84	2,41	4%
5	Colorado	0,55%	0,08	3	3,5	4,34	10,92	4,49	2%
21	Carolina	5,61%	0,26	3	2,33	1,21	6,8	0,37	2%
8	Kansas	0,58%	0,26	3	3,5	1,77	8,53	2,1	1%
6	Arizona	0,17%	0,08	3	3,5	5,32	11,9	5,47	1%
4	Montana	0,21%	0,08	3	3,5	3,39	9,97	3,54	1%
17	New England	1,03%	0,26	3	1,17	2,33	6,76	0,33	0%
7	Minnesota	2,33%	0,26	3	1,17	1,9	6,33	-0,1	0%
16	Florida	12,27%	0,26	3	1,75	1,33	6,34	-0,09	-1%
15	Georgia	4,67%	0,26	3	2,33	0,54	6,13	-0,3	-1%
22	Ohio	2,24%	0,26	3	1,17	0,56	4,99	-1,44	-3%
10	Michigan	13,16%	0,26	3	1,75	1,14	6,15	-0,28	-4%
14	Tennessee	3,14%	0,26	3	0	0	3,26	-3,17	-10%
13	Indiana	19,16%	0,26	3	1,17	0,99	5,42	-1,01	-19%
3	So California	6,02%	0,08	3	0	0	3,08	-3,35	-20%
Wtd. Avg.	100,00%	0,24	3	1,65	1,54	6,43			0%

Tabla 6.7.2-3 Demanda atrasada por AR.

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)	Retraso s/media (días)	Demanda retrasada (por almacén)
9	Texas	3,55%	0,26	3	3,5	3,03	9,79	3,36	12%
11	Missouri	1,74%	0,26	3	3,5	4,47	11,23	4,8	8%
18	New York	9,46%	0,26	3	1,17	2,8	7,23	0,8	8%
12	Louisiana	1,48%	0,26	3	3,5	3,58	10,34	3,91	6%
19	Pennsylvania	4,69%	0,26	3	1,17	3,13	7,56	1,13	5%
20	Virginia	2,46%	0,26	3	1,17	3,8	8,23	1,8	4%
2	No California	4,01%	0,08	3	3,5	0,84	7,42	0,99	4%
1	Washington	1,47%	0,08	3	3,5	2,26	8,84	2,41	4%
5	Colorado	0,55%	0,08	3	3,5	4,34	10,92	4,49	2%
21	Carolina	5,61%	0,26	3	2,33	1,21	6,8	0,37	2%
8	Kansas	0,58%	0,26	3	3,5	1,77	8,53	2,1	1%
6	Arizona	0,17%	0,08	3	3,5	5,32	11,9	5,47	1%
4	Montana	0,21%	0,08	3	3,5	3,39	9,97	3,54	1%
17	New England	1,03%	0,26	3	1,17	2,33	6,76	0,33	0%

Tabla 6.7.2-4

Finalmente clasificamos los elementos en tres grupos A, B y C, según su importancia sobre el problema: El grupo A concentra casi el 75% de las causas del retraso sobre la media (6/22 almacenes --> 25%).

El conocer cuales son las regiones de ventas cuyos transporte Long Haul desde Central están provocando que baje el nivel de servicio nos permite determinar una acción para mejorar el modelo que se está probando (FER07):

Decisión resultante del análisis: Añadimos un viaje a la semana para 2 rutas que concentran las regiones con cierta criticidad en el tiempo de espera medio por cliente:

- Ruta 7: Abastece a las regiones de venta más críticas a nivel de servicio (primera, segunda y cuarta, en criticidad): 9, 11 y 12
- Ruta 3: Abastece a las regiones de venta: 18, 19 y 20 (tercera, quinta y sexta)

Como resultado de esta segunda optimización, hemos reducido a 6,31 el tiempo de espera medio en este modelo que hemos denominado FER07 (optimización sobre FER06), mientras el nivel de beneficio económico para la empresa se sigue manteniendo en los valores que habíamos conseguido en FER06:

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Retraso s/media (días)	Demanda retrasada (por almacén)	Demanda retrasada (acumulada)	% 0 a 100	Clasificación ABC
9	Texas	3,55%	3,36	12%	12%	20%	A
11	Missouri	1,74%	4,8	8%	20%	35%	A
18	New York	9,46%	0,8	8%	28%	47%	
12	Louisiana	1,48%	3,91	6%	34%	57%	B
19	Pennsylvania	4,69%	1,13	5%	39%	66%	
20	Virginia	2,46%	1,8	4%	43%	74%	B
2	No California	4,01%	0,99	4%	47%	81%	
1	Washington	1,47%	2,41	4%	51%	87%	C
5	Colorado	0,55%	4,49	2%	53%	91%	
21	Carolina	5,61%	0,37	2%	55%	94%	C
8	Kansas	0,58%	2,1	1%	57%	97%	
6	Arizona	0,17%	5,47	1%	58%	98%	C
4	Montana	0,21%	3,54	1%	58%	99%	
17	New England	1,03%	0,33	0%	59%	100%	C

Tabla 6.7.2-5 Clasificación A B C de retrasos

Si dicha ordenación se representara gráficamente para una empresa en concreto, tomaría aproximadamente la misma forma del gráfico siguiente, que se denomina gráfico "ABC"

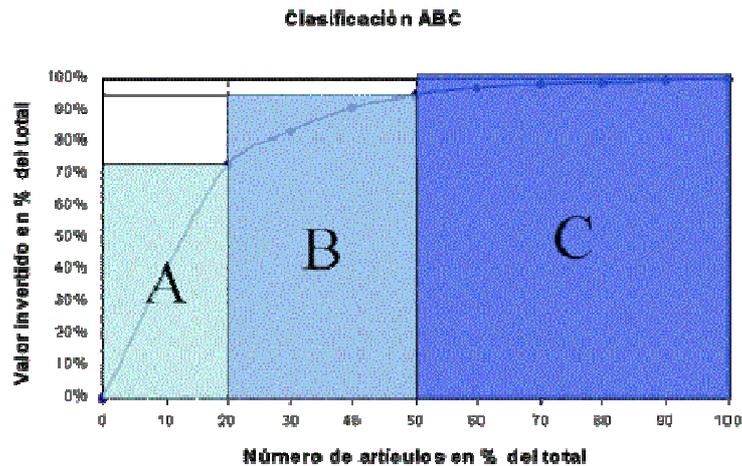


Ilustración 6.7.2-6 Distribución típica de clasificación.

Aplicado a inventarios, el eje horizontal muestra el porcentaje de productos en inventario para el negocio desde 0 a 100. El eje vertical muestra el % del total invertido en inventario, también desde 0 a 100. La distribución del inventario revela un patrón típico: un pequeño porcentaje de los productos del inventario constituye una gran proporción de la inversión total de la empresa; en el gráfico, un 20% de los artículos representa un 75 % del valor de la inversión; de esta forma se define la zona A del gráfico. A continuación, la zona B está definida por los artículos con un valor medio, que en el gráfico corresponde a un 30% de artículos con un 20% del total de la inversión. Por último la zona C, más numerosa en artículos, representa una porción muy baja del valor de los inventarios.

La construcción del gráfico ABC, como se ha visto, se puede extender a diversas áreas de la actividad de la empresa como atención a clientes, programación de la producción..., es útil para clasificar los artículos inventariados por la empresa a fin de diferenciar las políticas y controles a aplicar en cada caso, pudiéndose afirmar que, en general, se dedicará mayor atención a los productos del grupo A que a los del grupo C, por las repercusiones finales que supone cada caso.

Para realizarlo para clasificar los stocks, en primer lugar ordenamos los artículos según su uso anual en términos monetarios de cada uno, y luego son agrupados por categorías, de tal forma que las clases A, B y C representen aproximadamente el 75, 25 y 5 por ciento, respectivamente del empleo total anual. La cuantificación del stock y de los flujos, hará aparecer en nuestro análisis periodos punta y periodos de poca actividad, así como los artículos que más se "utilizan" y los que menor uso tienen.

Antes de esbozar la solución técnica, será necesario decidir que valores se conservan y cuales no, para no invertir inútilmente en edificios, equipos y hombres, siempre sabiendo gestionar los periodos de mayor stock y los de mayor actividad. Una primera aproximación al problema nos permitirá acercarnos a las posibles soluciones para afrontar los periodos punta.

- Disminuir los lotes de fabricación.
- Motivación comercial a los clientes para que anticipen sus pedidos.
- Entrega de pedidos de mayorista con 1 o 2 días de retraso.

Una segunda aproximación, nos permite dar soluciones a las puntas de almacén residuales:

- Zonas de almacenamiento provisional para el stock, en el exterior del almacén.
- También para el stock, alquiler del local de un transportista habitual
- Retención de los talleres de producción.
- Contratar personal interino, para solucionar los flujos puntas
- Mantener el almacén abierto durante horas suplementarias.

La realización de un esquema de flujo, nos facilitará los intercambios entre las diferentes partes implicadas en el proyecto: responsables, encargados de estudio, futuros usuarios...

Es obvia la necesidad de controlar estrechamente los artículos de la clase A y algunos, los más importantes de la clase B. La carencia momentánea de estos artículos en stock ocasionaría perjuicios graves, en forma de paros prolongados, al proceso productivo. Por ello lo más conveniente es utilizar el sistema de cobertura para estas clases de artículos. Para los artículos de la clase B, exceptuando los anteriores, parece conveniente el sistema

de punto de pedido, siempre y cuando los plazos de entrega no sean muy largos. Para los artículos de la clase C, dado su escaso valor, puede emplearse el llamado sistema mixto.

Una modificación del programa de producción exige variar el valor del lote y la frecuencia de pedidos. En algunos casos, el sistema mixto puede dar lugar a stocks altos, pero su efecto sobre los costes financieros es menor, dado el escaso valor de los artículos pertenecientes a esta clase.

Advertimos que la asignación propuesta, conlleva, con respecto a una aplicación del sistema de punto de pedido a todos los artículos una necesidad de financiación y unos costes financieros relativos a inventarios mayores. Sin embargo, esta desventaja está ampliamente compensada por la mayor seguridad, menor probabilidad de ruptura, que comporta la utilización del sistema de cobertura en la gestión de los artículos de la denominada clase A.

6.7.3. Metodologías de programación. Nivelación de recursos para dimensionar equipos de transporte.

Se han tratado de realizar simulaciones a través de software de transporte y de distribución TRUCKS y DISTGAME, ideados por el mismo autor de WLD y con ejemplos basados en la misma compañía. Ante la imposibilidad de cambiar parámetros de diseño de estos sistemas hemos optado por no realizar simulaciones mediante estos programas.

Otro software no destinado a simulación GANTT, que forma parte del mismo paquete de simulaciones sobre la compañía Llenroc Plastics Corporation también ha sido analizado. En este caso, hemos optado por diagramar cronológicamente el modelo propuesto mediante Primavera Project Planner (P3). En este software hemos realizado la simulación bajo los siguientes puntos de vista:

- Cada actividad programada corresponde con el tiempo parcial de espera de cada una de las regiones de venta, según las esperas resultantes del modelo FER07.
- Tiempo programado en la simulación 1 mes vista: Se ha programado para cada región de venta el número de ciclos necesario para completar un mes de trabajo.
- Orden de la información:
 - Las regiones de venta han sido agrupadas por Rutas, y se han ordenado siguiendo el orden de reparto establecido en las mismas.
 - Las Rutas, denominadas según resulta del sistema propuesto FER07, se han agrupado en dos grupos, según el Almacén de procedencia de la mercancía (03 So California / 14 Almacén Central)
- Se han incluido los siguientes recursos, asignados con estos criterios:
 - Nº Camiones en ruta (truck): se han asignado a las actividades de transporte long haul, el número de camiones que componen cada una de las rutas.
 - SqFt de demanda semanal entregada: en la actividad de entrega a BBP de cada región de ventas (la última de cada ciclo) se han asignado el número de pies cuadrados que se entregan.

Se presentan los siguientes gráficos y tablas resultantes de la simulación:

- **Diagrama de Gantt para las rutas de distribución (un mes vista).**
 - Desde Central (7 hojas)
 - Desde Almacén Regional (2 hojas)

Se muestran los siguientes datos en los diagramas Gantt:

- Actividades, con su identificador único.
- Duración prevista: en horas y en días → tabla de tiempo de espera Modelo FER07
- Cantidad de recurso (camiones en ruta + SqFt en entregas)
- Fecha final de cada actividad.
- Histograma de uso de camiones.
- No se consideran holguras, ni se representan debido a que se trata de un modelo cíclico.

- Cada tipo de actividad está marcada con diferente color para su mejor análisis.
- Tabla de distribución de recursos (un mes vista)
- Utilización diaria de camión (3 hojas). Recurso Truck.
- Entrega diaria de pedidos (3 hojas). Recurso SqFt.

- **Diagrama de Gantt para las rutas de distribución (un mes vista).**
 - Desde Central (5 hojas)
 - Desde Almacén Regional (2 hojas)

- **Tabla de distribución de recursos (un mes vista)**
 - Utilización diaria de Recursos (2 hojas): Superficie a distribuir (SqFt) y Camiones (Trucks).

- **Diagrama de Gantt para las rutas de distribución CON RECURSO: TRUCK NIVELADO (un mes vista).**
 - Desde Central (4 hojas)
 - Desde Almacén Regional (4 hojas)

- **Tabla de distribución de recursos (un mes vista)**
 - Utilización diaria de Recursos (2 hojas): Superficie a distribuir (SqFt) y Camiones (Trucks).

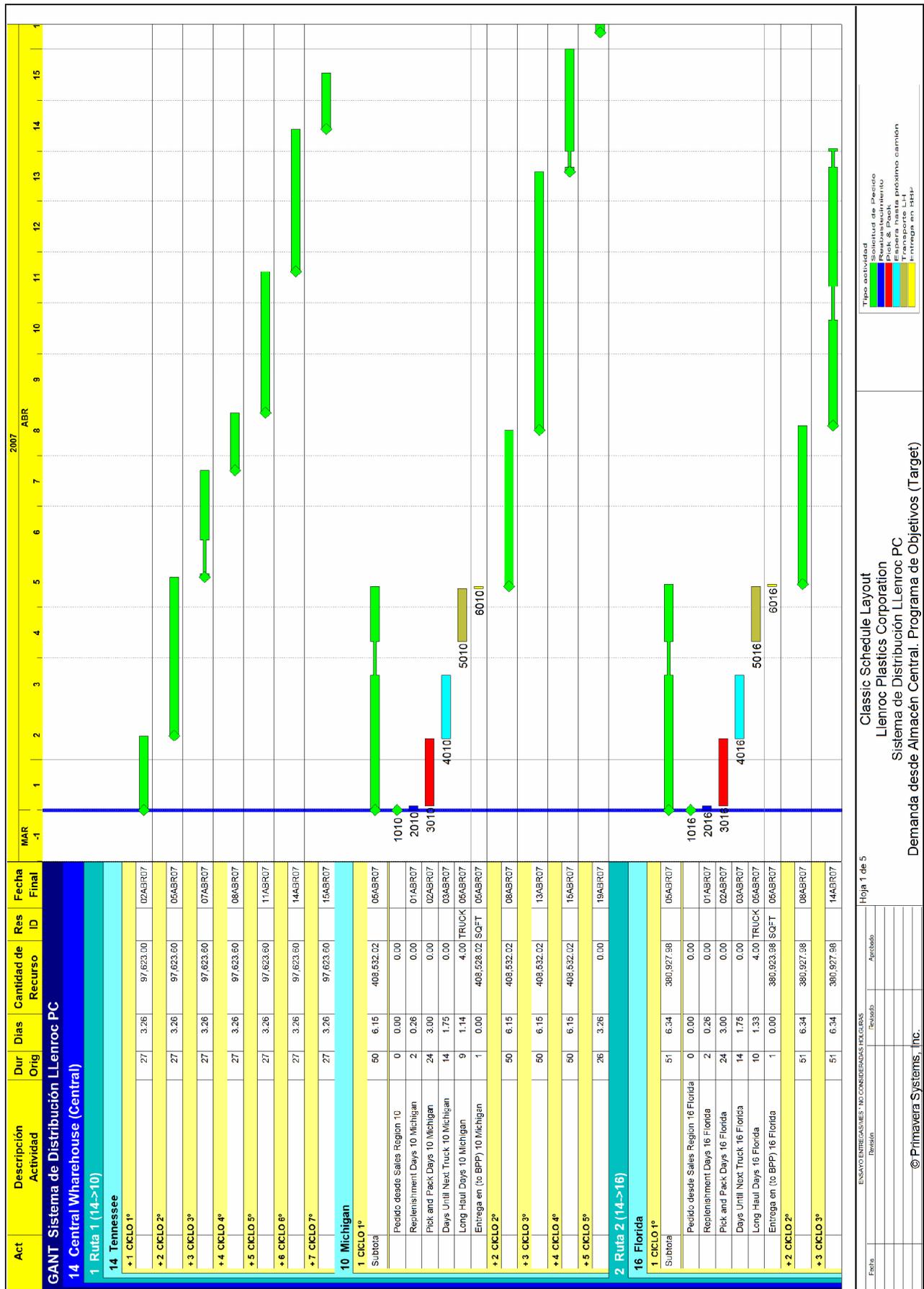
Evidentemente, la disposición camiones será un número entero y constante de camiones, si la actuación la ejerce la empresa, o relativamente variable, si se subcontrata esta actividad.

En cualquier caso, este recurso limitado debe nivelarse dentro de unos parámetros máximos de disponibilidad, capacidad y tiempo de entrega a cliente. El camino crítico de esta programación nos lo marca la región de venta con mayor tiempo de espera de clientes. Las regiones más cercanas a orígenes de distribución tendrán una mayor posibilidad de frecuencia, es decir, mayor número de entregas al año, e incluso podrán apoyar cada x viajes a las rutas críticas. La espera punta marcará el número de equipo de transporte constante a disponer.

El buen conocimiento de técnicas de programación y organización dentro de la distribución física redundará en un mejor aprovechamiento y ordenación de estos recursos. La diferencia económica inmediata será determinará el número óptimo de camiones a adquirir o disponer del conocimiento suficiente para obtener unas mejores y favorables condiciones de posible subcontratación del transporte a un tercero.

En los diagramas que se presentan a continuación se observa la coincidencia temporal del inicio de actuación. La disposición de un número concreto de camiones laminará dicha posibilidad aumentando el tiempo de espera. Deberá incrementarse en primer lugar el correspondiente a aquellas RV que dispongan de holgura respecto a la espera media. Los tiempos de espera punta actuarán, a nuestros efectos, como actividades críticas.

Se ha realizado un nivelación de recursos, limitando a cuatro unidades los camiones. Se puede observar que se va produciendo un retraso acumulativo a medida que se van completando ciclos.



Hoja 1 de 5

ENSAYO ENTREGABLES NO CONSIDERADOS POR CALIFICACIÓN

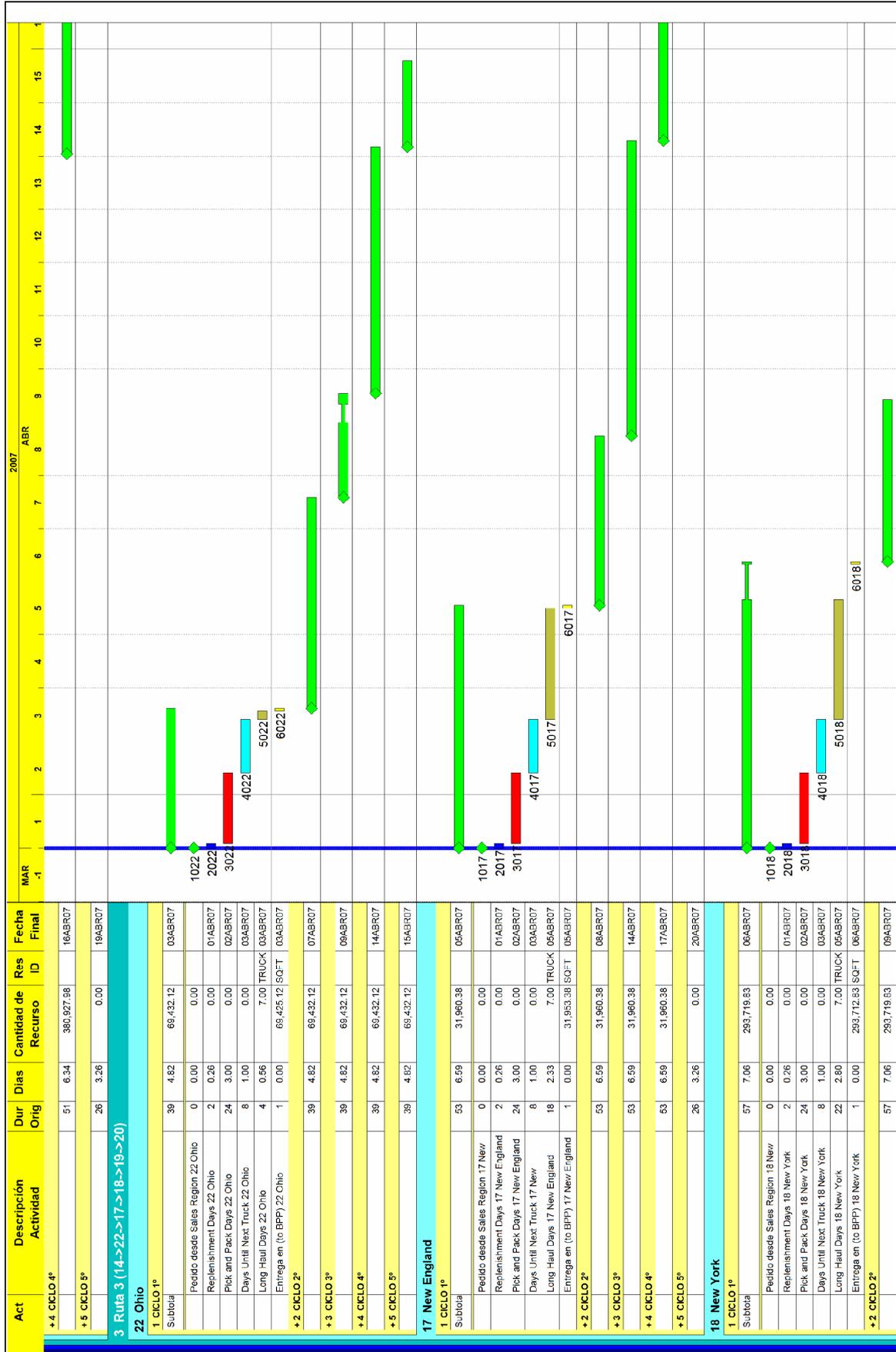
© Primavera Systems, Inc.

Classic Schedule Layout
 Llenroc Plastics Corporation
 Sistema de Distribución LLenroc PC
 Demanda desde Almacén Central. Programa de Objetivos (Target)

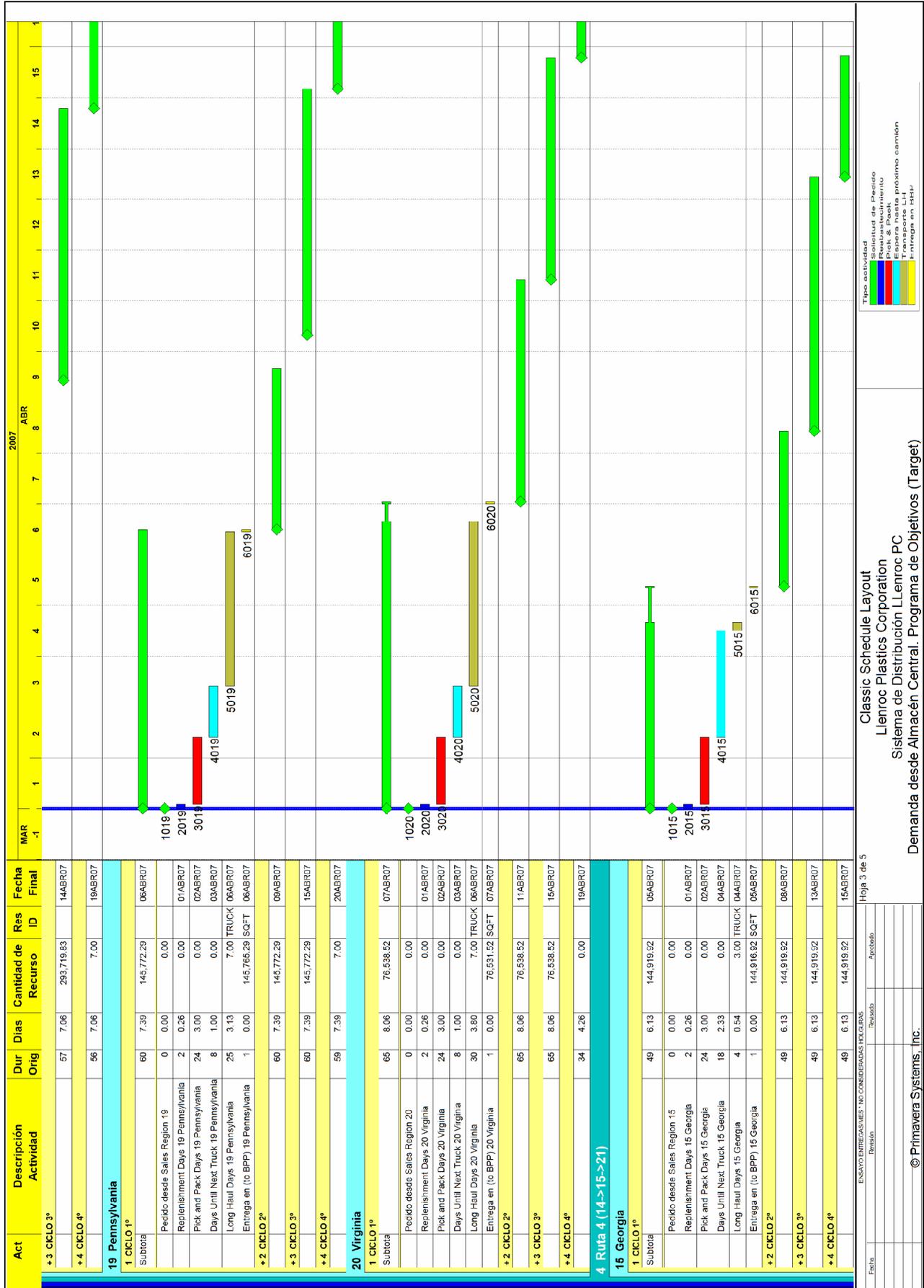
Fecha: _____

Elaborado: _____

Aprobado: _____

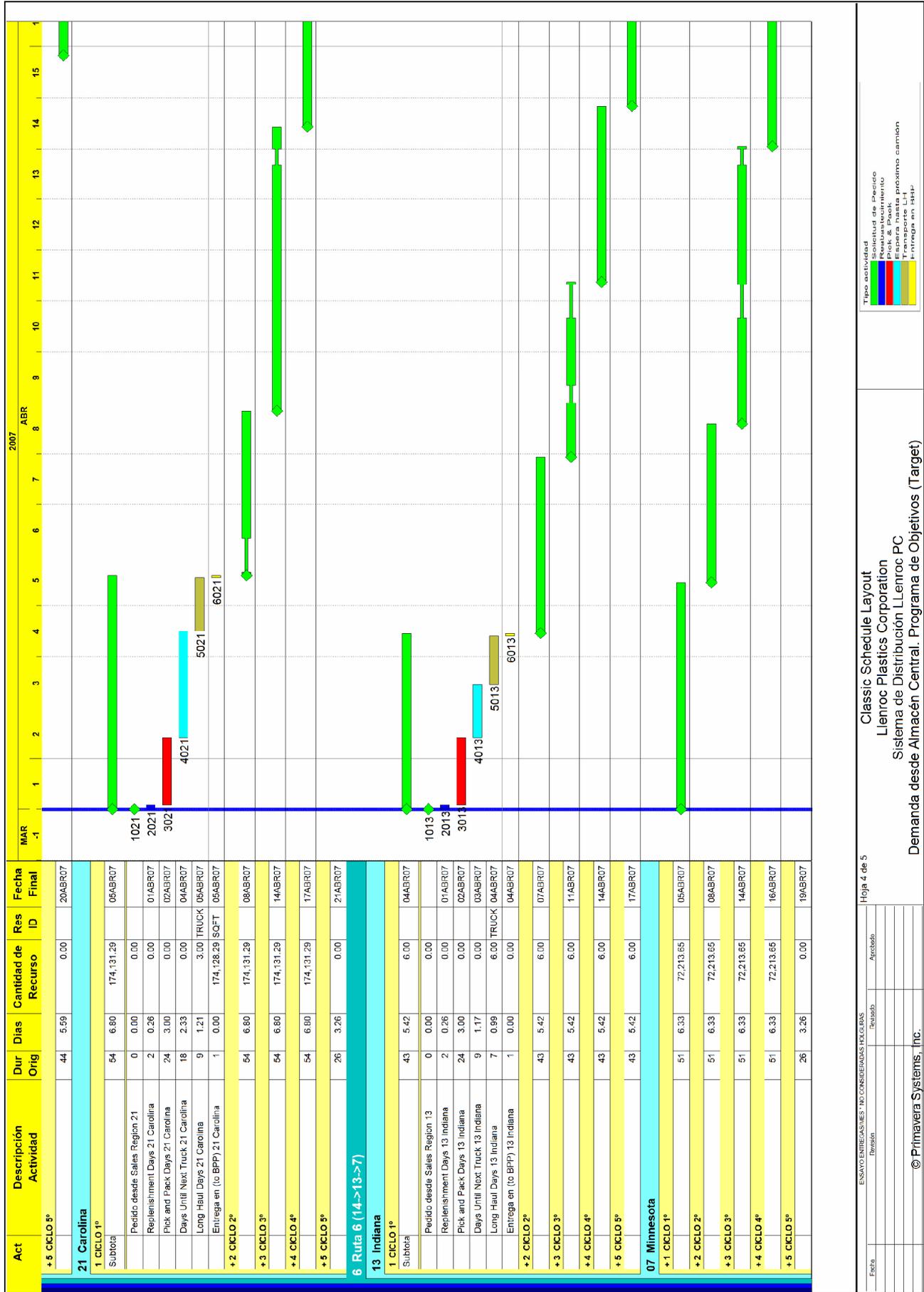


Classic Schedule Layout
 Lienroc Plastics Corporation
 Sistema de Distribución LLenroc PC
 Demanda desde Almacén Central. Programa de Objetivos (Target)



Tipo actividad
 Entregas en el sitio
 Reposición de camión
 Pick & Pack
 Transporte Llenroc PC
 Entrega en el sitio

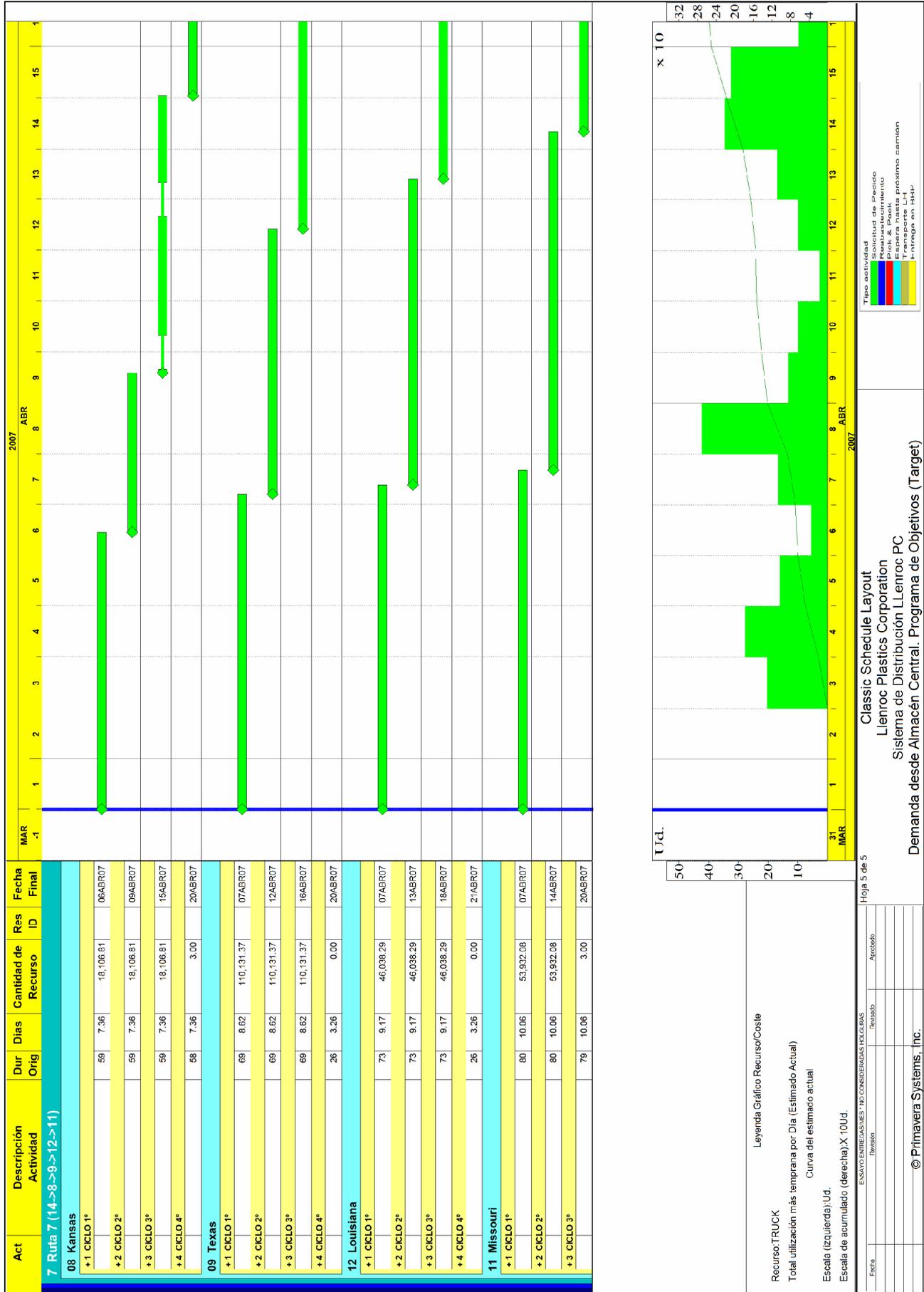
Classic Schedule Layout
 Llenroc Plastics Corporation
 Sistema de Distribución Llenroc PC
 Demanda desde Almacén Central. Programa de Objetivos (Target)

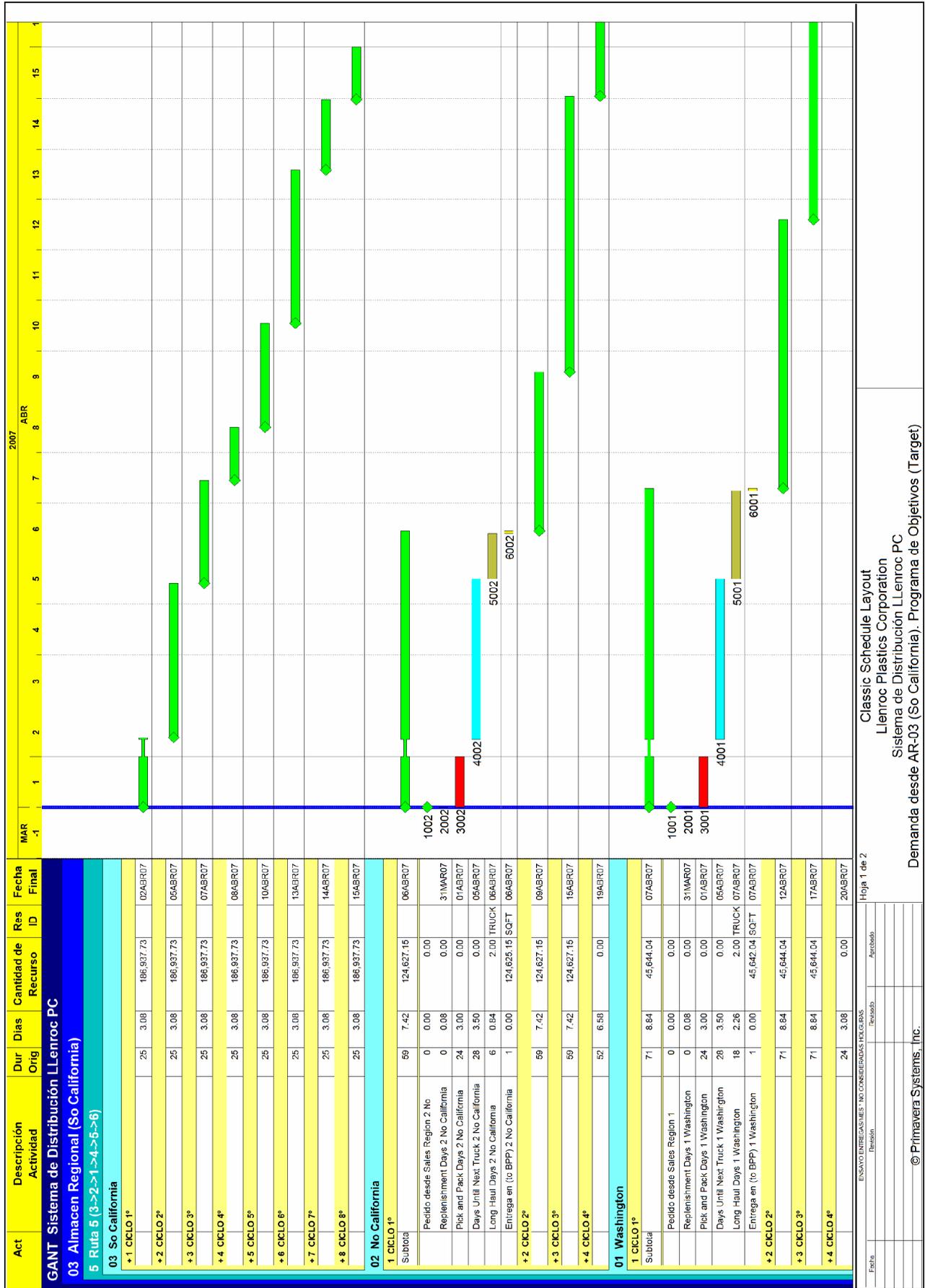


Tipo actividad
 Reabastecimiento
 Pick & Pack
 Transporte LT
 Entrega en HRP

Classic Schedule Layout
 Llenroc Plastics Corporation
 Sistema de Distribución LLenroc PC
 Demanda desde Almacén Central. Programa de Objetivos (Target)

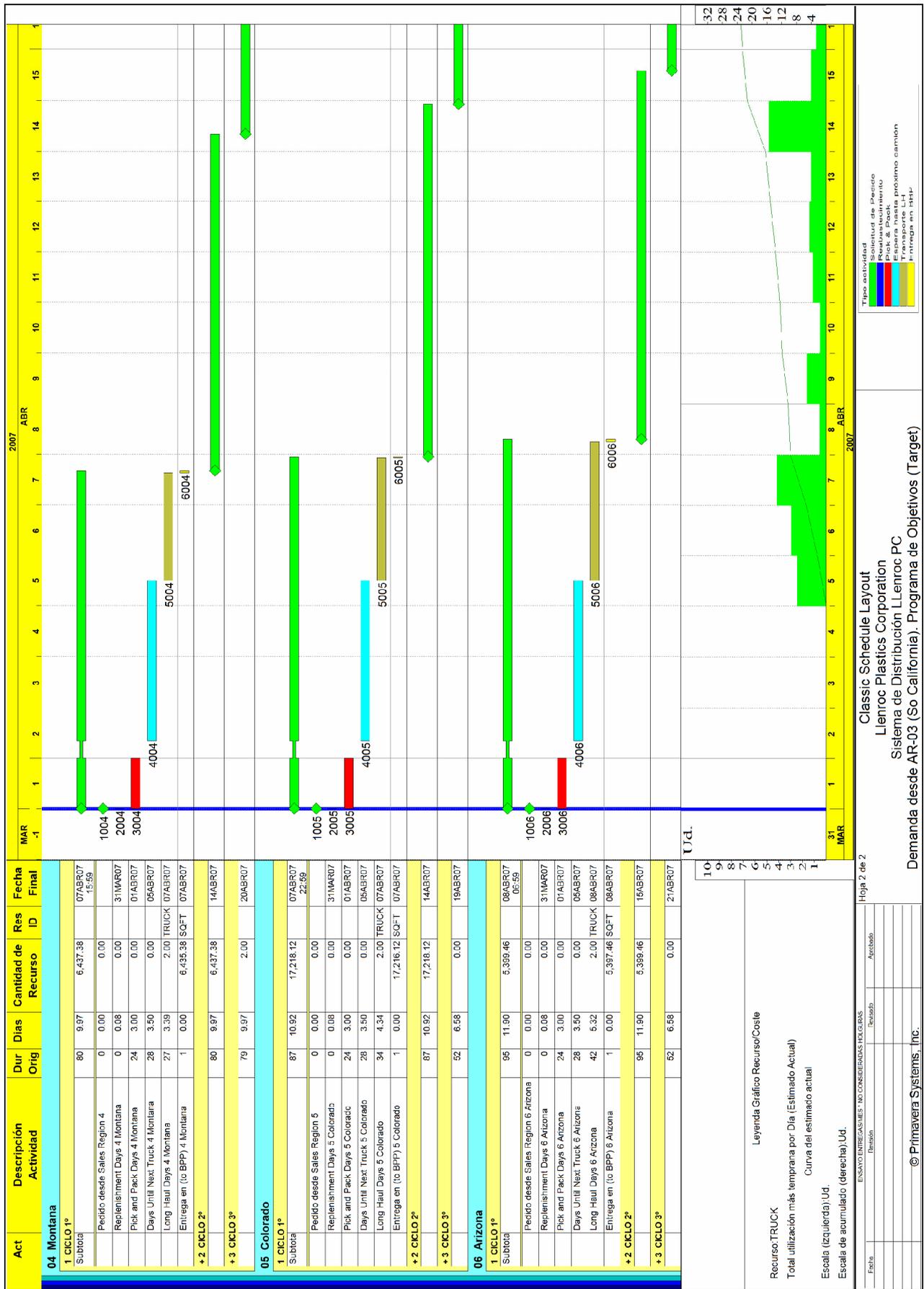
Hoja 4 de 5
 EN SAVANNAH, GEORGIA. NO CONSIDERAR HORAS.
 Fecha: Revisión: Aprobado:
 © Primavera Systems, Inc.





Classic Schedule Layout
 Llenroc Plastics Corporation
 Sistema de Distribución LLenroc PC
 Demanda desde AR-03 (So California), Programa de Objetivos (Target)

Fecha	Revisión	Revisado	Aprobado



Llenroc Plastics Corporation PRIMAVERA PROJECT PLANNER Sistema de Distribución LLenroc PC
 REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 92 RESOURCE LOADING REPORT START DATE 01APR07 FIN DATE 31JUL07*
 10:53 00:00 10:59
 SQFT Resource Loading - Total Monthly Summary TOTAL USAGE FOR DAY DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1- 2
00:00

ACT ID	15APR 2007	16APR 2007	17APR 2007	18APR 2007	19APR 2007	20APR 2007	21APR 2007	22APR 2007	23APR 2007	24APR 2007	25APR 2007	26APR 2007	27APR 2007	28APR 2007	29APR 2007	30APR 2007
Central Warehouse (Central)																
1	506151.6															
2		380923.9														
3	291721.9		31953.38													
4	144916.9		174128.3													
6		72207.65														
7	18103.81	110128.3		46035.29												
TOTAL	960894.3	563260.0	206081.6	46035.29												
Almacen Regional (So California)																
5	316960.3	45642.04														
TOTAL	316960.3	45642.04														
TOTAL																
				293712.8	348858.6	1100324.	660962.3	188764.2	145765.3		60364.46	76531.52	127344.4	91677.33	5397.46	
TOTAL				293712.8	348858.6	1100324.	660962.3	188764.2	145765.3		60364.46	76531.52	127344.4	91677.33	5397.46	
	1277854.	583260.0	251723.7	46035.29	293712.8	348858.6	1100324.	660962.3	188764.2	145765.3	60364.46	76531.52	127344.4	91677.33	5397.46	

Llenroc Plastics Corporation PRIMAVERA PROJECT PLANNER Sistema de Distribución LLenroc PC
 REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 92 RESOURCE LOADING REPORT START DATE 01APR07 FIN DATE 31JUL07*
 10:53 00:00 10:59
 SQFT Resource Loading - Total Monthly Summary TOTAL USAGE FOR DAY DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1- 1
00:00

ACT ID	DESC	1APR 2007	2APR 2007	3APR 2007	4APR 2007	5APR 2007	6APR 2007	7APR 2007	8APR 2007	9APR 2007	10APR 2007	11APR 2007	12APR 2007	13APR 2007	14APR 2007
Central Warehouse (Central)															
1	Ruta 1 (14->10)		97623.00			506151.6		97623.60	506151.6			97623.60		408528.0	97623.60
2	Ruta 2 (14->16)					380923.9			380923.9						380923.9
3	Ruta 3 (14->22->17->)			69425.12		31953.38	439478.1	145956.6	31953.38	508903.2		76531.52			395091.3
4	Ruta 4 (14->15->21)					319045.2			319045.2						174128.3
6	Ruta 6 (14->13->7)					72207.65			72207.65						72207.65
7	Ruta 7 (14->8->9->12)						18103.81	210092.7			18103.81		110128.3	46035.29	53929.08
TOTAL	14		97623.00	69425.12		1310281.	457581.9	453672.9	1310281.	527007.0		174155.1	110128.3	599480.2	1173904.
Almacen Regional (So California)															
5	Ruta 5 (3->2->1->4->03)		186937.7			186937.7	124625.1	256231.2	192335.1	124625.1	186937.7		45642.04	186937.7	210589.2
TOTAL	03		186937.7			186937.7	124625.1	256231.2	192335.1	124625.1	186937.7		45642.04	186937.7	210589.2
TOTAL															
	REPORT TOTAL		284680.7	69425.12		1497219.	582207.1	709904.2	1502617.	661632.1	186937.7	174155.1	156770.4	786417.9	1384493.

Llenroc Plastics Corporation PRIMAVERA PROJECT PLANNER Sistema de Distribución LLenroc PC
 REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 92 RESOURCE LOADING REPORT START DATE 01APR07 FIN DATE 31JUL07*
 10:53 00:00 10:59
 SQFT Resource Loading - Total Monthly Summary TOTAL USAGE FOR DAY DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1- 3
00:00

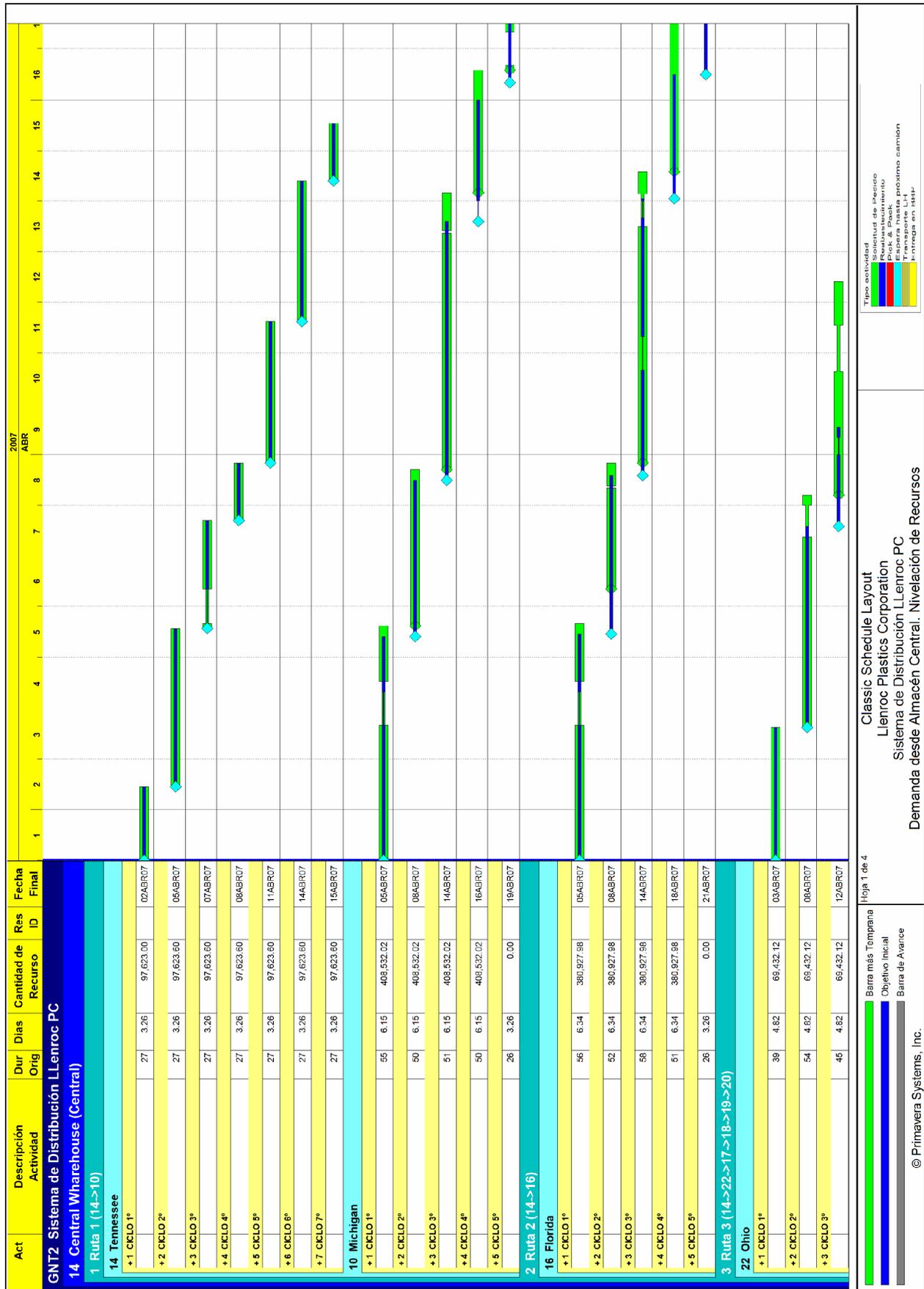
ACT ID	1MAY 2007	TOTAL
Central Warehouse (Central)		
1	231747.6	
2	152369.5	
3	202296.6	
4	127618.0	
6	286830.5	
7	630660.5	
TOTAL	8059813.	
Almacen Regional (So California)		
5	206440.1	
TOTAL	206440.1	
TOTAL		
	3099703.	
TOTAL	3099703.	
	13223917	

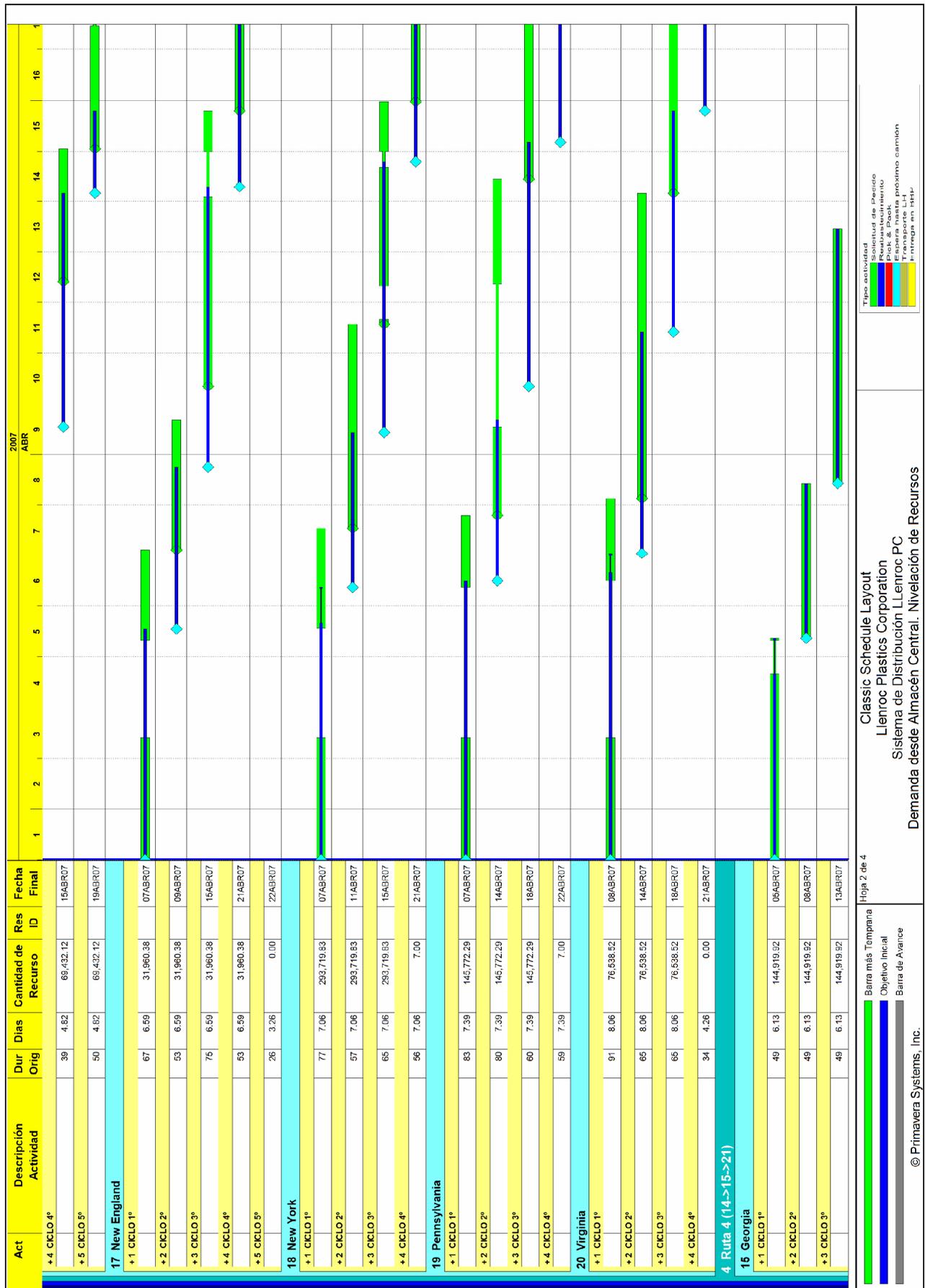
Lienroc Plastics Corporation	PRIMAVERA PROJECT PLANNER	Sistema de Distribución LLenroc PC
REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 93 10:55	RESOURCE LOADING REPORT	START DATE 01APR07 FIN DATE 31JUL07* 00:00 10:59
TRUCKS Resource Loading - Total Monthly Summary	TOTAL USAGE FOR DAY	DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1-2 00:00

ACT ID	18APR 2007	19APR 2007	20APR 2007	21APR 2007	22APR 2007	23APR 2007	24APR 2007	25APR 2007	26APR 2007	27APR 2007	28APR 2007	29APR 2007	30APR 2007	1MAY 2007	TOTAL
Central Warehouse (Central)															
1															16.00
2															16.00
3	4.79	3.19	1.96												140.00
4															24.00
6															54.00
7	1.54	2.40	1.24												39.00
TOTAL	6.33	5.59	3.20												289.00
Almacen Regional (So California)															
5	0.59	0.59	0.52												26.00
TOTAL	0.59	0.59	0.52												26.00
-															
TOTAL	2.05	3.74	33.96	20.91	7.30	3.98	3.14	3.40	2.40	7.32	3.98	1.42	1.28	94.88	
TOTAL	6.92	8.24	7.46	33.96	20.91	7.30	3.98	3.14	3.40	2.40	7.32	3.98	1.42	1.28	409.88

Lienroc Plastics Corporation	PRIMAVERA PROJECT PLANNER	Sistema de Distribución LLenroc PC
REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 93 10:55	RESOURCE LOADING REPORT	START DATE 01APR07 FIN DATE 31JUL07* 00:00 10:59
TRUCKS Resource Loading - Total Monthly Summary	TOTAL USAGE FOR DAY	DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1-1 00:00

ACT ID	DESC	1APR 2007	2APR 2007	3APR 2007	4APR 2007	5APR 2007	6APR 2007	7APR 2007	8APR 2007	9APR 2007	10APR 2007	11APR 2007	12APR 2007	13APR 2007	14APR 2007	15APR 2007	16APR 2007	17APR 2007
Central Warehouse (Central)																		
1	Ruta 1 (14->10)				3.56	0.44			4.00				1.78	2.22		4.00		
2	Ruta 2 (14->16)				3.20	0.80			4.00				0.80	3.20		2.80	1.20	
3	Ruta 3 (14->22->17->)			14.32	9.76	8.21	2.71	7.39	21.37	11.14	1.87	0.23	1.56	6.13	22.27	14.76	4.07	4.27
4	Ruta 4 (14->15->21)				4.33	1.67			6.00				1.50	1.50	3.00	3.00	0.67	2.33
6	Ruta 6 (14->13->7)		6.29	4.91	0.60			6.80	5.20			6.00	2.60	3.20	6.00	4.50	2.06	5.14
7	Ruta 7 (14->8->9->12)				2.13	4.26	2.97	2.64	1.53	2.27	2.20	2.54	1.67	0.79	3.60	3.32	1.95	1.54
TOTAL	14				20.61	27.89	16.18	5.66	16.83	42.49	13.41	10.07	2.78	10.10	17.05	34.87	32.68	9.94
Almacen Regional (So California)																		
5	Ruta 5 (3->2->1->4->)					2.50	3.00	4.21	0.62	1.67	0.56	1.19	1.44	1.30	4.80	1.29	0.89	0.74
TOTAL	03					2.50	3.00	4.21	0.62	1.67	0.56	1.19	1.44	1.30	4.80	1.29	0.89	0.74
-																		
TOTAL																		
REPORT TOTAL					20.61	27.89	18.68	8.68	21.05	43.11	15.08	10.62	3.96	11.54	18.36	39.77	33.97	10.83



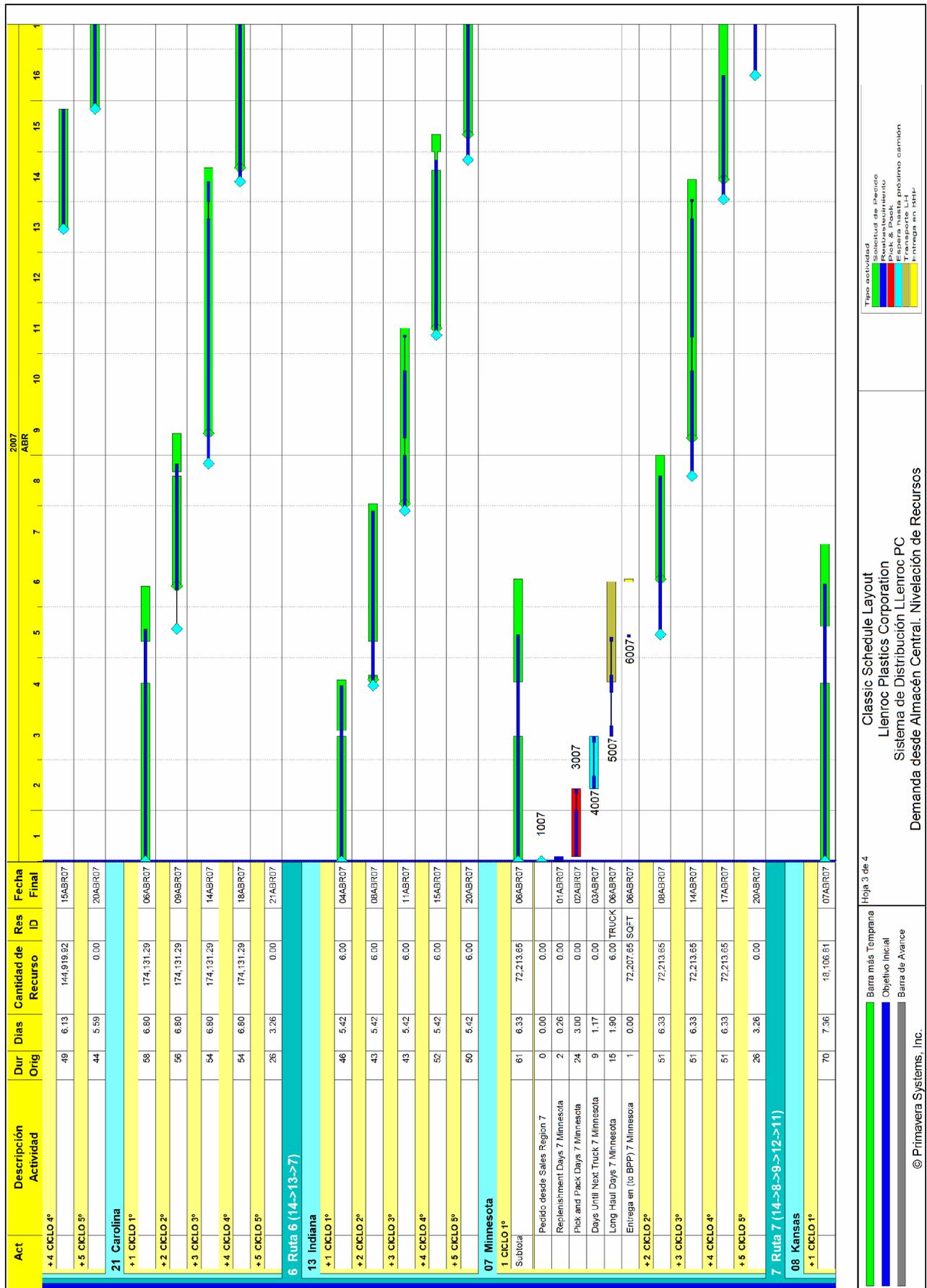


Classic Schedule Layout
 Lenroc Plastics Corporation
 Sistema de Distribución Lenroc PC
 Demanda desde Almacén Central: Nivelación de Recursos

Hoja 2 de 4

Barra más Temprana
 Barra de Avance
 Barra de Recurso
 Barra de Recurso Inicial
 Barra de Recurso Final

© Primavera Systems, Inc.

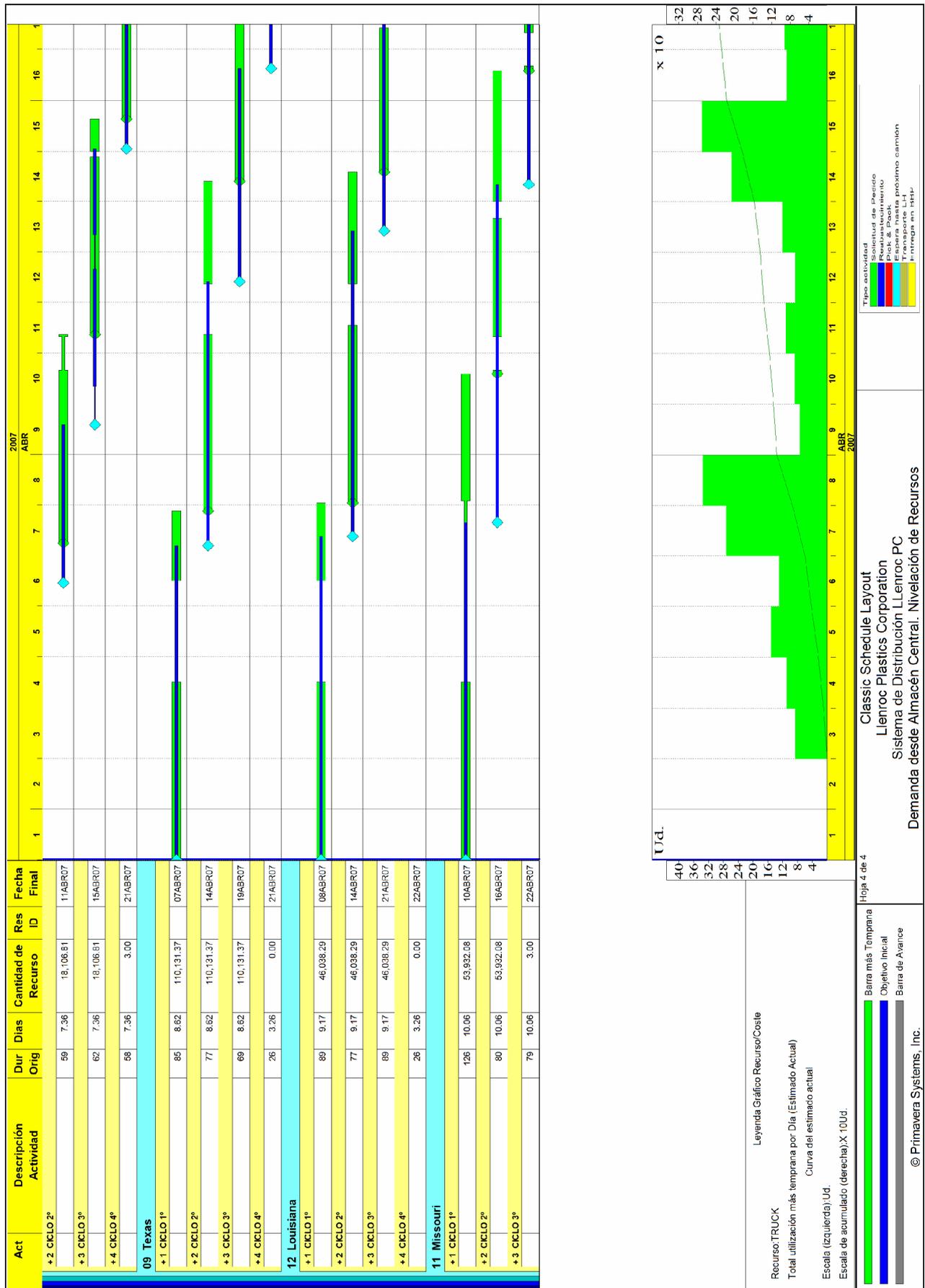


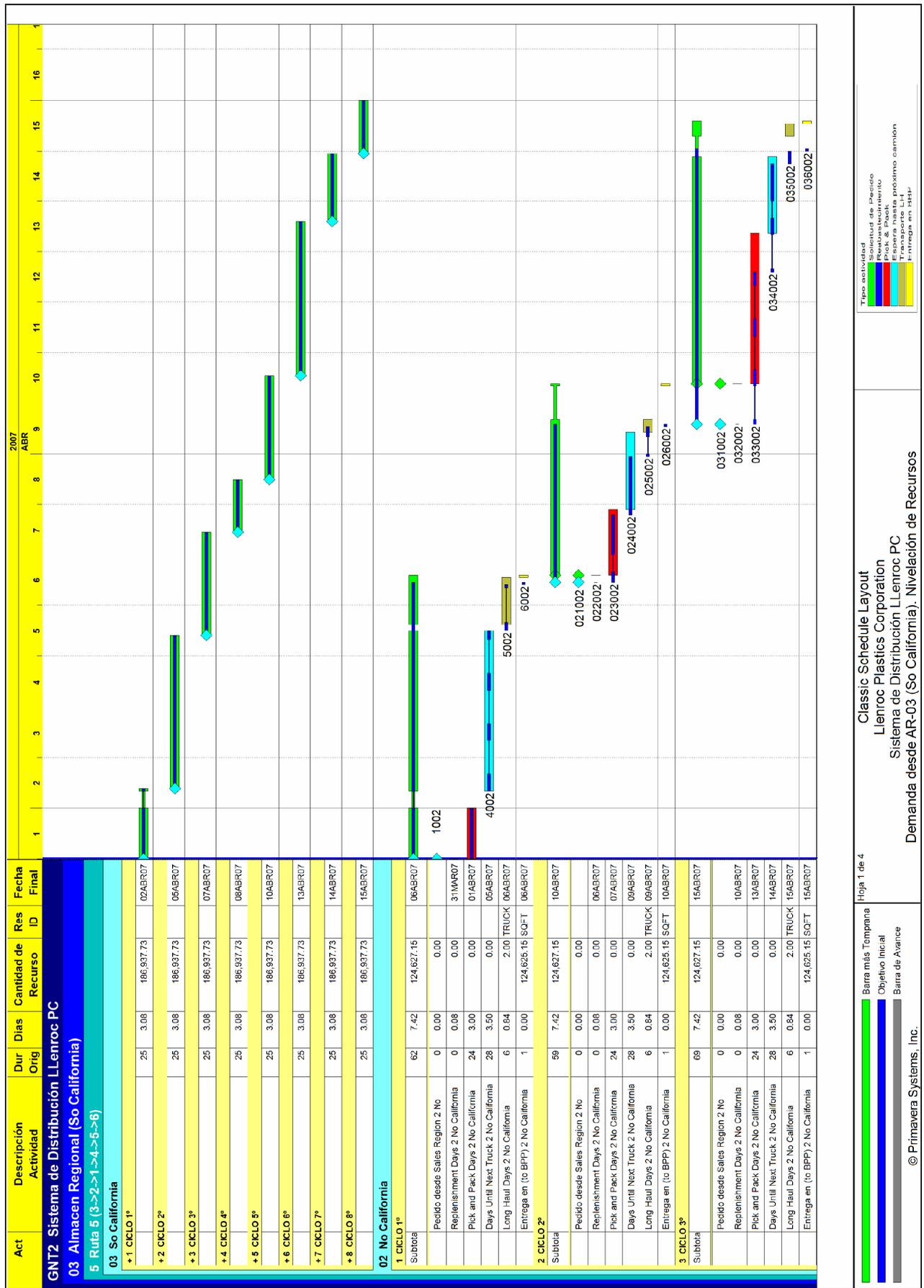
Classic Schedule Layout
 Lenroc Plastics Corporation
 Sistema de Distribución Lenroc PC
 Demanda desde Almacén Central: Nivelación de Recursos

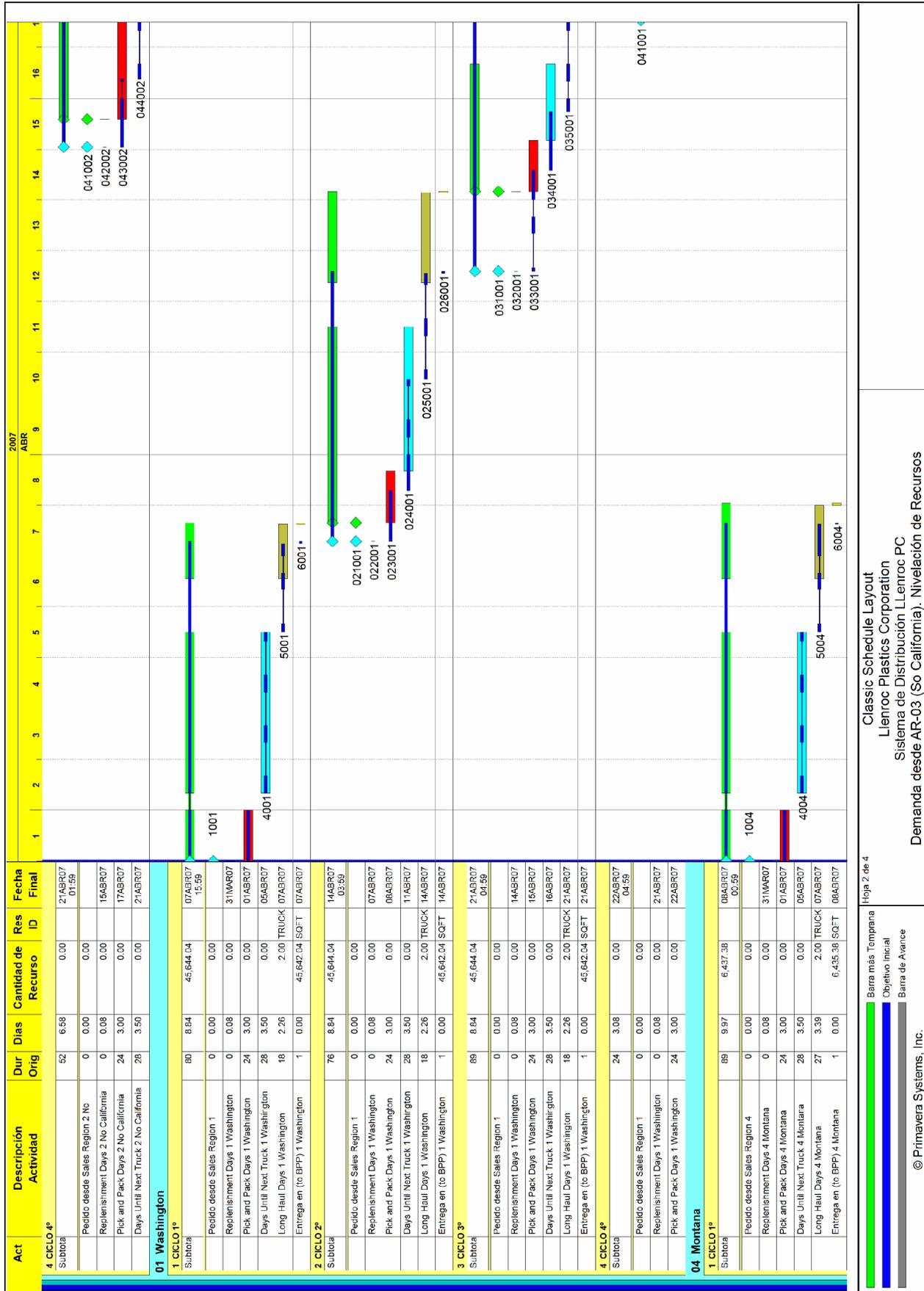
Hoja 3 de 4

Barra más Temprana
 Objetivo Inicial
 Barra de Avance

© Primavera Systems, Inc.

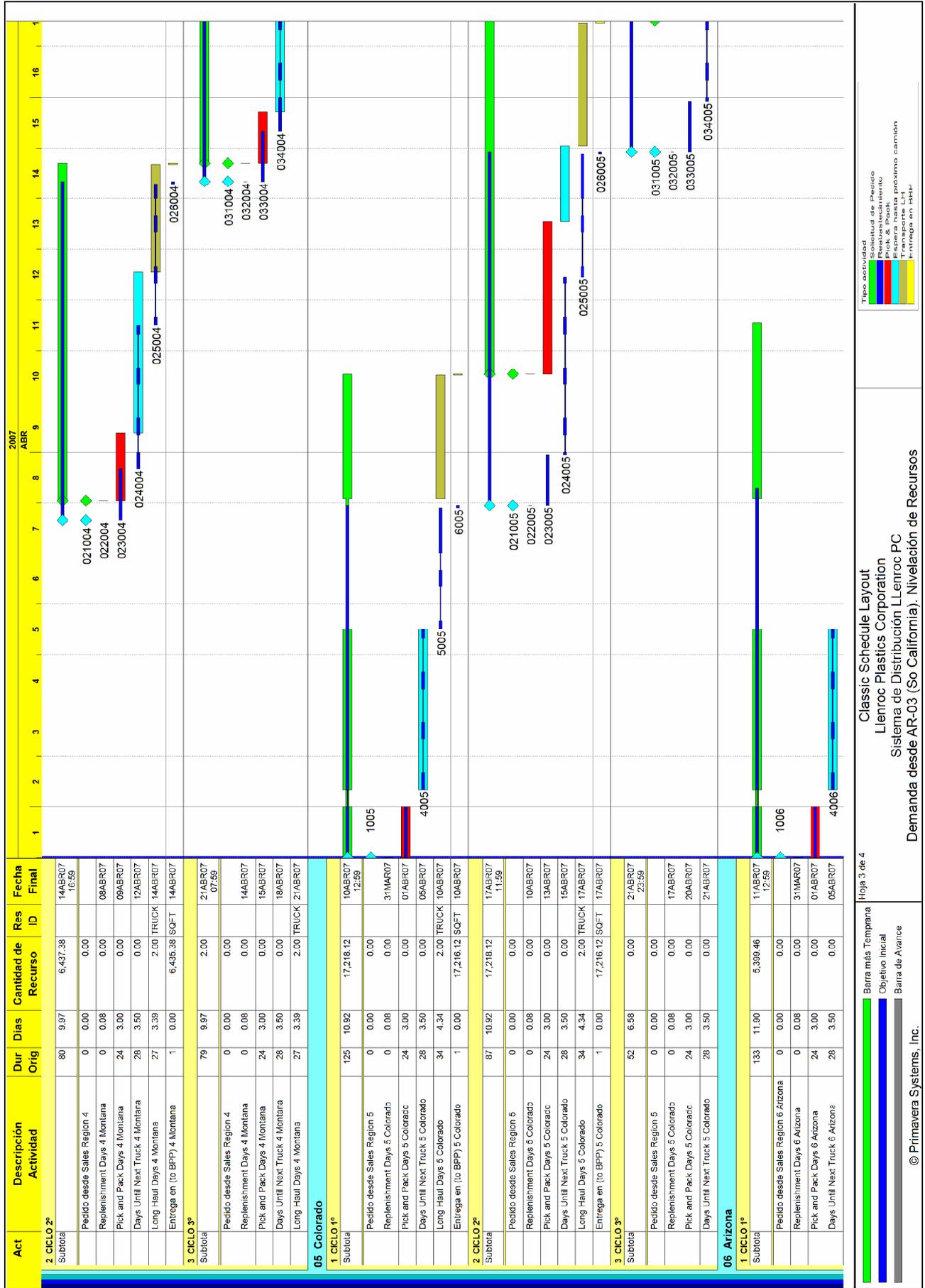




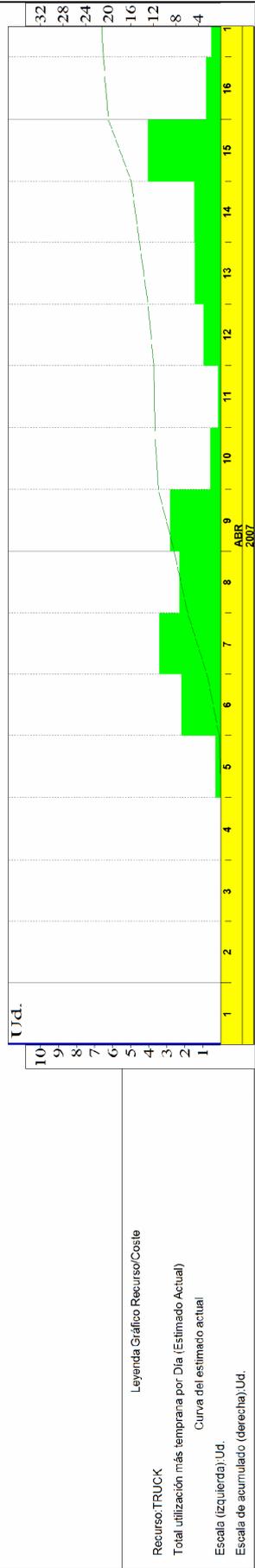


Hoja 2 de 4
 Classic Schedule Layout
 Lienroc Plastics Corporation
 Sistema de Distribución LLenroc PC
 Demanda desde AR-03 (So California). Nivelación de Recursos

© Primavera Systems, Inc.
 Barra más Temporal
 Objetivo Inicial
 Barra de Avance



Act	Descripción Actividad	Dur Orig	Dias	Cantidad de Recurso	Res ID	Fecha Final
	Long Haul Days 6 Arizona	42	5.32	2.00	TRUCK	11/ABR07
	Entrega en (to BPP) 6 Arizona	1	0.00	5,397.46	SQFT	11/ABR07
2 CICLO 2º						
Subtotal		95	11.90	5,399.46		19/ABR07
	Pedido desde Sales Region 6 Arizona	0	0.00	0.00		
	Replenishment Days 6 Arizona	0	0.08	0.00		11/ABR07
	Pick and Pack Days 6 Arizona	24	3.00	0.00		14/ABR07
	Days Until Next Truck 6 Arizona	28	3.50	0.00		15/ABR07
	Long Haul Days 6 Arizona	42	5.32	2.00	TRUCK	19/ABR07
	Entrega en (to BPP) 6 Arizona	1	0.00	5,397.46	SQFT	19/ABR07
3 CICLO 3º						
Subtotal		52	6.68	0.00		22/ABR07
	Pedido desde Sales Region 6 Arizona	0	0.00	0.00		
	Replenishment Days 6 Arizona	0	0.08	0.00		19/ABR07
	Pick and Pack Days 6 Arizona	24	3.00	0.00		21/ABR07
	Days Until Next Truck 6 Arizona	28	3.50	0.00		22/ABR07



Recurso: TRUCK
 Total utilización más temprana por Día (Estimado Actual)
 Curva del estimado actual
 Escala (izquierda): Ud.
 Escala de acumulado (derecha): Ud.

█ Barra más Temprana
█ Objetivo Inicial
█ Barra de Avance

Leyenda Gráfico Recurso/Coste
 Classic Schedule Layout
 Llenroc Plastics Corporation
 Sistema de Distribución LLenroc PC
 Demanda desde AR-03 (So California), Nivelación de Recursos
 © Primavera Systems, Inc.

Hoja 4 de 4

Lienroc Plastics Corporation PRIMAVERA PROJECT PLANNER Sistema de Distribución LLenroc PC
 REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 122 RESOURCE LOADING REPORT START DATE 01APR07 FIN DATE 24MAY07*
 11:10 00:00
 SQFT Resource Loading - Total Monthly Summary TOTAL USAGE FOR DAY DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1-2
00:00

ACT ID	15APR 2007	16APR 2007	17APR 2007	18APR 2007	19APR 2007	20APR 2007	21APR 2007	22APR 2007	23APR 2007	24APR 2007	25APR 2007	26APR 2007	27APR 2007	28APR 2007	29APR 2007	30APR 2007
Central Warehouse (Central)																
1	97623.60	408528.0														
2				380923.9												
3	395091.3			222296.8	69425.12		31953.38									
4	144916.9			174128.3												
6			72207.65													
7	18103.81	53929.08			110128.3		46035.29									
TOTAL	655735.6	462457.1	72207.65	777349.0	179553.4		77988.67									
Almacen Regional (So California)																
5	311562.8		17216.12		5397.46		45642.04									
TOTAL	311562.8		17216.12		5397.46		45642.04									
TOTAL																
						996322.1	903485.8	159297.8	142728.9	339354.8	51432.75	228732.2	164057.4			
TOTAL	967298.5	462457.1	89423.77	777349.0	184950.9	1119952.	903485.8	159297.8	142728.9	339354.8	51432.75	228732.2	164057.4			

Lienroc Plastics Corporation PRIMAVERA PROJECT PLANNER Sistema de Distribución LLenroc PC
 REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 122 RESOURCE LOADING REPORT START DATE 01APR07 FIN DATE 24MAY07*
 11:10 00:00
 SQFT Resource Loading - Total Monthly Summary TOTAL USAGE FOR DAY DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1-1
00:00

ACT ID	DESC	1APR 2007	2APR 2007	3APR 2007	4APR 2007	5APR 2007	6APR 2007	7APR 2007	8APR 2007	9APR 2007	10APR 2007	11APR 2007	12APR 2007	13APR 2007	14APR 2007
Central Warehouse (Central)															
1	Ruta 1 (14->10)		97623.00			506151.6		97623.60	506151.6			97623.60			506151.6
2	Ruta 2 (14->16)					380923.9			380923.9						380923.9
3	Ruta 3 (14->22->17->)			69425.12				471431.5	145956.6	31953.38		293712.8	69425.12		222296.8
4	Ruta 4 (14->15->21)					144916.9	174128.3		144916.9	174128.3				144916.9	174128.3
6	Ruta 6 (14->13->7)						72207.65		72207.65						72207.65
7	Ruta 7 (14->8->9->12)							128232.1	46035.29		53929.08	18103.81			156163.6
TOTAL	14		97623.00	69425.12		1031992.	246335.9	697287.3	1296192.	206081.6	53929.08	409440.2	69425.12	144916.9	1611872.
Almacen Regional (So California)															
5	Ruta 5 (3->2->1->4->03)		186937.7			186937.7	124625.1	232579.7	193373.1		328779.0	5397.46		186937.7	239015.1
TOTAL	03		186937.7			186937.7	124625.1	232579.7	193373.1		328779.0	5397.46		186937.7	239015.1
TOTAL															
REPORT TOTAL			284560.7	69425.12		1218930.	370961.0	929867.0	1489565.	206081.6	382708.0	414837.7	69425.12	331854.6	1750887.

Lienroc Plastics Corporation PRIMAVERA PROJECT PLANNER Sistema de Distribución LLenroc PC
 REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 122 RESOURCE LOADING REPORT START DATE 01APR07 FIN DATE 24MAY07*
 11:10 00:00
 SQFT Resource Loading - Total Monthly Summary TOTAL USAGE FOR DAY DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1-3
00:00

ACT ID	1MAY 2007	TOTAL
Central Warehouse (Central)		
1	2317476.	
2	1523695.	
3	2022968.	
4	1276180.	
6	288830.5	
7	630660.5	
TOTAL	8059812.	
Almacen Regional (So California)		
5	2064401.	
TOTAL	2064401.	
TOTAL		
	62858.16	3048270.
TOTAL	62858.16	3048270.
	62858.16	13172484

Lienroc Plastics Corporation
 REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 123
 11:12

PRIMAVERA PROJECT PLANNER
 RESOURCE LOADING REPORT

Sistema de Distribución LLenroc PC
 START DATE 01APR07 FIN DATE 24MAY07*
 00:00 10:59
 DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1-2
 00:00

TRUCKS Resource Loading - Total Monthly Summary

TOTAL USAGE FOR DAY

ACT ID	18APR 2007	19APR 2007	20APR 2007	21APR 2007	22APR 2007	23APR 2007	24APR 2007	25APR 2007	26APR 2007	27APR 2007	28APR 2007	29APR 2007	30APR 2007	1MAY 2007	TOTAL
Central Warehouse (Central)															
1															16.00
2															16.00
3	6.11	4.67	5.34	9.45	5.04										140.00
4	1.67														24.00
6		5.14	0.86												54.00
7	1.00	1.39	1.93	4.63	1.80										39.00
TOTAL	8.78	11.20	8.12	14.08	6.84										289.00
Almacen Regional (So California)															
5	0.60	1.40	1.48	1.04											26.00
TOTAL	0.60	1.40	1.48	1.04											26.00
-															
TOTAL			19.10	15.65	7.30	9.22	7.12	3.00	5.54	12.00	5.89	2.82	2.11	89.77	
TOTAL	9.38	12.60	9.61	34.22	22.49	7.30	9.22	7.12	3.00	5.54	12.00	5.89	2.82	2.11	404.77

Lienroc Plastics Corporation
 REPORT DATE 20MAR07 RUN NO. 123
 11:12

PRIMAVERA PROJECT PLANNER
 RESOURCE LOADING REPORT

Sistema de Distribución LLenroc PC
 START DATE 01APR07 FIN DATE 24MAY07*
 00:00 10:59
 DATA DATE 01APR07 PAGE NO. 1-1
 00:00

TRUCKS Resource Loading - Total Monthly Summary

TOTAL USAGE FOR DAY

ACT ID	DESC	1APR 2007	2APR 2007	3APR 2007	4APR 2007	5APR 2007	6APR 2007	7APR 2007	8APR 2007	9APR 2007	10APR 2007	11APR 2007	12APR 2007	13APR 2007	14APR 2007	15APR 2007	16APR 2007	17APR 2007
Central Warehouse (Central)																		
1	Ruta 1 (14->10)				1.33	2.67			4.00					2.67	1.33	1.78	2.22	
2	Ruta 2 (14->16)				1.20	2.80			4.00						4.00		0.80	3.20
3	Ruta 3 (14->22->17->			7.00		3.75	8.55	15.24	12.06	5.27	3.25	8.71	5.58	4.11	10.50	17.17	4.11	4.11
4	Ruta 4 (14->15->21)				3.00	2.67	0.33		5.67	0.33			1.50	1.50	3.00	3.00		1.33
6	Ruta 6 (14->13->7)			1.71	5.49	3.20	1.60	6.00	6.00		3.43	2.57		2.00	4.00	6.80	3.20	2.00
7	Ruta 7 (14->8->9->12)					0.21	2.64	6.14	1.89	1.97	2.14		1.63	1.86	3.03	5.06	0.68	1.00
TOTAL	14			8.71	11.02	15.30	13.13	27.38	33.62	7.57	8.82	11.28	8.70	12.13	25.87	33.81	11.01	11.64
Almacen Regional (So California)																		
5	Ruta 5 (3->2->1->4->					0.33	2.22	3.44	2.34	2.85	0.62	0.19	1.00	1.48	1.52	4.07	0.85	0.56
TOTAL	03					0.33	2.22	3.44	2.34	2.85	0.62	0.19	1.00	1.48	1.52	4.07	0.85	0.56
-																		
TOTAL	REPORT TOTAL			8.71	11.02	15.63	15.35	30.82	35.96	10.42	9.43	11.47	9.70	13.61	27.38	37.88	11.86	12.20

6.7.4. Cálculo de niveles de stock de seguridad.

Como una breve introducción a los modelos probabilísticos de gestión de inventarios, podemos establecer un plan de aprovisionamiento de una empresa en el caso de que la demanda no sea conocida exactamente con antelación. En este caso una demanda superior a las existencias hace incurrir a la empresa en una ruptura de stocks, que tendrá un impacto sobre los costes totales de gestión de stocks en forma de beneficio no realizado, pérdida de prestigio comercial, descuentos necesarios para que el cliente esté dispuesto a esperar el momento en que haya existencias suficientes en almacén.

En nuestro sistema, se vende anualmente 161.424.122 unidades de artículos.

Los precios de compra y venta unitarios son respectivamente \$0,313 y \$0,522180, y el coste de financiación de los inventarios, también preestablecido, es del 20%.

Consideramos que el coste de ruptura de stock, es decir cuando no se dispone directamente en almacén de sus pedido (backorder) es igual a la pérdida de su beneficio, es decir precio de venta - precio de coste => 0,52218- 0,313= \$0,20918.

También se podría considerar que cuando el almacén está agotado se ofreciese un descuento a los clientes de parte del precio (normalmente no menor de este considerado, que sería máximo), para que acepten la espera.

En un sistema en el que los pedidos se emiten regularmente, como es el caso de nuestro proyecto, se fija de antemano una cantidad de producto de reposición R, se controlan los inventarios en las fechas preestablecidas para emitir un pedido de tal magnitud que, llegado a almacén coincida el nivel de stock con R. El valor de R es el mismo en todos los ciclos de aprovisionamiento del artículo.

$$R = S_s + Q/360 [\text{Tiempo de aprovisionamiento} + T^*] = 6.199.274 \text{ SqFt}$$

El stock R cubre por tanto el consumo de artículos entre la emisión de pedido y la recepción del mismo (en BBP). Por otra parte, el valor del lote será: q= R-I-C,

Donde

I= Stock en el momento de emisión

C= Volumen de pedidos en curso no entregados.

La demanda en el tiempo de aprovisionamiento será el volumen de demanda por día por la media de espera de reaprovisionamiento² será: $(161.424.122 / 365) \times 6,31 \text{ días (según mod.FER07).} = 2.790.647 \text{ SqFt}$

Probabilidades de existencia de pedido en stock almacén	Demanda en el tiempo de reaprovisionamiento
90%	2.511.582
91%	2.539.489
92%	2.567.395
93%	2.595.302
94%	2.623.208
95%	2.651.115
96%	2.679.021
97%	2.706.928
98%	2.734.834
99%	2.762.741
100%	2.790.647

Para determinar el plan de inventario de la empresa: Fijamos el valor del lote q. Los costes asociados a q son los de mantenimiento y de emisión. Aplicando la expresión ya conocida :

$$q^* = \sqrt{\frac{2 Q C_e}{C_m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (10.000) (20.000)}{(0,08) \cdot (10.000)}} = 707 \text{ unidades}$$

² Consideramos en este concepto ampliado, es decir la suma del tiempo de re-aprovisionamiento, los días de pick and pack, los días hasta próximo camión y los días de transporte LH; en lugar de considerar únicamente el tiempo de reabastecimiento (expected replenishment days).

Nuestra empresa realizará, por tanto, pedidos de 707 unidades si aplica el sistema de punto de pedido. Aplicando la fórmula de T^* podremos calcular el intervalo entre pedidos, a través del cual podremos observar el sistema cíclico o de cobertura.

$$T^* = 360 \times \sqrt{\frac{2 C_e}{Q C_m}} = 360 \times \sqrt{\frac{2 \cdot (20.000)}{(10.000)(0.08) \cdot (10.000)}} = 25 \text{ días}$$

Podemos ahora preguntarnos por el número de unidades que constituirán el stock de seguridad S_s . La ecuación de costes relacionados es la siguiente:

$$C = C_m \cdot S_s + C_s \cdot Q/q \cdot \Sigma (V - \mu - S_s) f(V)$$

Donde

- $C_m \cdot S_s$: Son los costes de mantenimiento del stock de seguridad
- C_s : Coste de ruptura por unidad de artículos que no está en almacén.
- Q/q : Número anual de ciclos
- $\Sigma (V - \mu - S_s) f(V)$: El sumatorio se realiza entre $\mu + S_s + 1$ hasta ∞ , y representa la ruptura media del ciclo.

Habremos fijado un S óptimo cuando los costes relevantes con un stock de seguridad superior o inferior en una unidad sean superiores a los que son soportados efectivamente con el stock de seguridad óptimo, es decir:

$$\begin{aligned} C(S-1) &> C(S) \\ C(S+1) &> C(S) \end{aligned}$$

Esta doble condición equivale a:

$$\sum_{\mu+S+1}^{\infty} f(V) < \frac{q \cdot C_m}{C_s \cdot Q} < \sum_{\mu+S}^{\infty} f(V)$$

En nuestro ejemplo, el ratio crítico R es igual a :

$$R = \frac{(707) \cdot (800)}{(3.000) \cdot (10.000)} = 0.018$$

$$\mu = \sum_0^{\infty} V f(V) = 100$$

Por otra parte, μ es la demanda media en el tiempo de aprovisionamiento :

Observando los valores de la columna de probabilidad acumulada, vemos que la condición se cumple de la siguiente manera. :

$$\sum_{109}^{\infty} f(V) = 0.01 < 0.018 < 0.03 = \sum_{108}^{\infty} f(V)$$

Por tanto S_s es igual a 8 unidades de artículo. Queda así fijado el volumen de stock de seguridad.

Alternativo a este método de resolución del problema y ante la dificultad de establecer un valor del coste de ruptura C_s , nuestro comerciante prefiere fijar una política de stocks tal que la probabilidad de ruptura en un ciclo de aprovisionamiento sea igual al 6%. En otras palabras de cada 100 ciclos de aprovisionamientos, habrá 6 en los cuales nuestro almacén se agotará antes de que llegue el nuevo pedido, sencillamente porque la demanda será superior en una, dos, n unidades al punto de pedido.

Por tanto. Y mirando la columna de probabilidad acumulada del cuadro de datos: $\sum_{\mu+S+1}^{\infty} f(V) = 0.06$

Por tanto el stock de seguridad será de 6 unidades y el punto de pedido, $\mu+s$, será exactamente igual a 106 unidades.

7. MODELO PROPUESTO: FER07.

7.1. Análisis Económico, Funcional Y Estratégico.

Modelo FER07: DESCENTRALIZACION ZONA OESTE SOLO UN ALMACEN REGIONAL (1 AR)
REESTUDIO DE NIVELES DE INVENTARIO (Análisis ABC)
DISMINUCION DE TIEMPO DE ESPERA (Análisis de Pareto)

Con este modelo que mantenemos desde FER05 pretendemos mantener altos beneficios y seguir mejorando el servicio respecto a modelos anteriores.

Hemos observado que ya no era la zona oeste la que presenta tiempos de espera críticos. Por el contrario, y como se puede observar del análisis de Pareto realizado en el apartado anterior, estas regiones de venta con mayores demoras en entregas fueron quedando situadas en el segundo anillo de las rutas de distribución centro-este desde almacén central.

En concreto, las regiones 9, 11, 18, 12, 19 y 20 concentraban las mayores desviaciones de tiempos de entrega respecto a la media obtenida por el sistema anterior FER06.

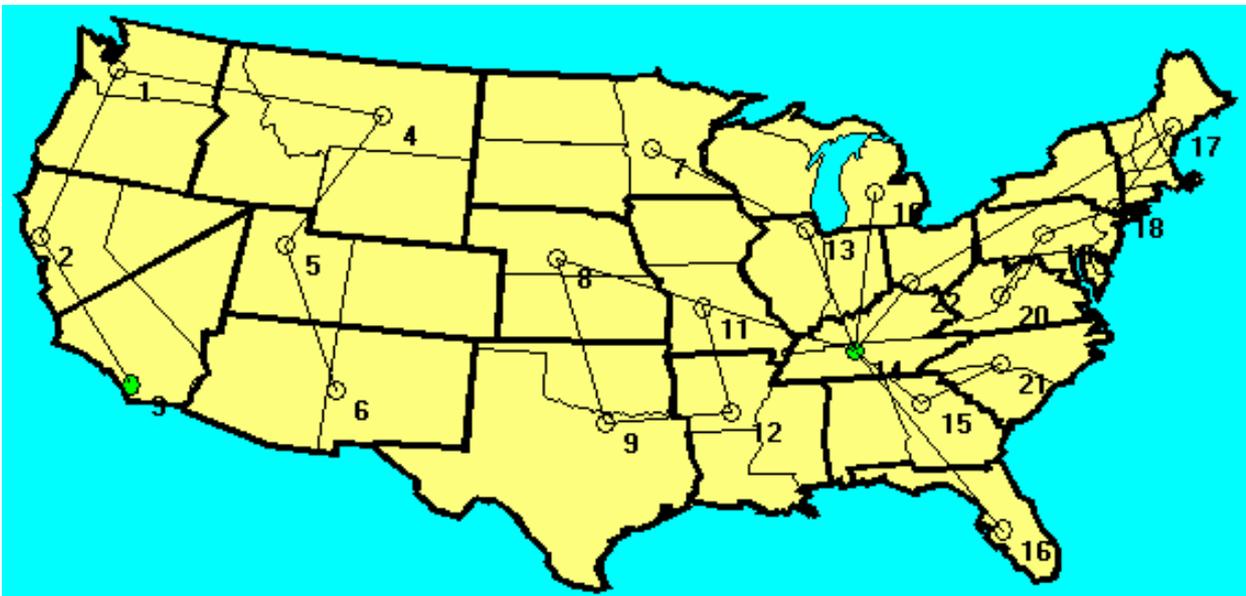


Ilustración 7.1. -0-1 Almacenes Regionales, asignación de Regiones de Venta y rutas.

En el sistema que proponemos se mantiene la misma distribución de almacenes y rutas que tan buenos resultados han dado en los dos modelos anteriores.

Disponer de un almacén regional en Los Angeles permitió corregir el tiempo medio de espera y su distribución se realiza mediante esta ruta específica, que ha sido comprobada mediante el métodos de Clark & Wright.

Por otro lado, las regiones de venta correspondientes al centro - oeste del país fueron divididas en rutas en función de las demandas específicas de cada región o agrupándolas buscando un equilibrio en la demanda a la

hora de diseñar estas rutas, respetando siempre los valores máximos (capacidad de camión, nº de viajes por ruta) que establece el programa WLD.

Los resultados generales de esta propuesta son: básicamente iguales al modelo FER06 en lo económico, pero con una mejora de un 5,4 % en tiempo de espera medio de cliente respecto a ese modelo.

Otros parámetros también han sido “limados” en este modelo: tales como utilización de recursos, mejor asignación de stock de seguridad, según clasificación, mejor distribución de stock de ciclo...

Warehouse Location	
Edit	Report
Annual Net Income	Avg. Cust. Wait (days)
\$22.052.596	6,31

Resultados económicos del modelo FER07

Tabla 7.1. -2 Resultados

Warehouse Location Designer - [Net Income Statement]			
Edit	Report		
Sales Revenue			\$84.292.473
CGS @ \$0,31/SqFt			\$50.538.269
Gross Profit			\$33.754.204
Warehouse Capacity Cost			\$7.770.000
Warehouse Transaction Cost			\$202.800
Transportation Cost:			
Long Haul from Central		\$385.505	
Long Haul to BPP		\$271.497	
Short Haul to Customers		\$2.625.463	
Total Transportation Cost			\$3.282.465
Inventory Investment:			
Pipeline Stock from Central	\$77.719		
Pipeline Stock to BPP	\$213.480		
Cycle Stock	\$1.360.646		
Safety Stock	\$579.868		
Total Inventory Investment		\$2.231.713	
Investment Finance Cost @ 20,0%			\$446.343
Total Distribution System Cost			\$11.701.608
Net Income Before Tax			\$22.052.596

Tabla 7.1. -3 Resumen de resultados económicos.

Resultados tiempos de espera del modelo FER07

Warehouse Location Designer - [Customer Service Report]							
Edit	Report						
Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Washington	1,47 %	0,08	3,00	3,50	2,26	8,84
2	No California	4,01 %	0,08	3,00	3,50	0,84	7,43
3	So California	6,02 %	0,08	3,00	0,00	0,00	3,08
4	Montana	0,21 %	0,08	3,00	3,50	3,39	9,97
5	Colorado	0,55 %	0,08	3,00	3,50	4,34	10,93
6	Arizona	0,17 %	0,08	3,00	3,50	5,32	11,91
7	Minnesota	2,33 %	0,26	3,00	1,17	1,90	6,33
8	Kansas	0,58 %	0,26	3,00	2,33	1,77	7,37
9	Texas	3,55 %	0,26	3,00	2,33	3,03	8,62
10	Michigan	13,16 %	0,26	3,00	1,75	1,14	6,15
11	Missouri	1,74 %	0,26	3,00	2,33	4,47	10,07
12	Louisiana	1,48 %	0,26	3,00	2,33	3,58	9,18
13	Indiana	19,16 %	0,26	3,00	1,17	0,99	5,42
14	Tennessee	3,14 %	0,26	3,00	0,00	0,00	3,26
15	Georgia	4,67 %	0,26	3,00	2,33	0,54	6,13
16	Florida	12,27 %	0,26	3,00	1,75	1,33	6,35
17	New England	1,03 %	0,26	3,00	1,00	2,33	6,59
18	New York	9,46 %	0,26	3,00	1,00	2,80	7,06
19	Pennsylvania	4,69 %	0,26	3,00	1,00	3,13	7,39
20	Virginia	2,46 %	0,26	3,00	1,00	3,80	8,06
21	Carolina	5,61 %	0,26	3,00	2,33	1,21	6,80
22	Ohio	2,24 %	0,26	3,00	1,00	0,56	4,82
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,24	3,00	1,53	1,54	6,31

Tabla 7.1. -4 Detalle de tiempos de espera RV

Rutas modelo FER07

Warehouse Location Designer - [Assign Demand to Routes]							
Edit							
Non-Warehouse Regions	Totals	Trips per Week	Total per Trip	Truck Utilization	Days Until Next Truck	Route Length (mi.)	Transport Cost (\$/yr)
Weekly Demand	2.820.516						
Unassigned Demand	0						
Route 1 : 14-> 10	408.528	4	102.132	88,81 %	1,8	512	\$116.081
Route 2 : 14-> 16	380.924	4	95.231	82,81 %	1,8	600	\$136.032
Route 3 : 14-> 22-> 17-> 18-> 19-> 20	617.388	7	88.198	76,69 %	1,0	1.709	\$678.063
Route 4 : 14-> 15-> 21	319.045	3	106.348	92,48 %	2,3	543	\$92.332
Route 5 : 3-> 2-> 1-> 4-> 5-> 6	199.315	2	99.658	86,66 %	3,5	2.395	\$271.497
Route 6 : 14-> 13-> 7	667.120	6	111.187	96,68 %	1,2	856	\$291.108
Route 7 : 14-> 8-> 9-> 12-> 11	228.196	3	76.065	66,14 %	2,3	2.013	\$342.291

Tabla 7.1. -5 Detalles demanda por rutas

Existen seis rutas que parten del almacén central (14), y otra ruta que distribuye a las regiones del oeste (la ruta R5). Dos de las rutas en este modelo, han visto incrementado el número de viajes por semana, consiguiéndose con ello una notable mejora del servicio a bajo coste.

La identificación de las rutas que debían ser potenciadas mediante la incorporación de un nuevo viaje a la semana ha sido resultado del Análisis de Pareto que se realiza en el punto 7.2. Finalmente resultaron ser la ruta R3, en la que añadimos el 7º viaje semanal, y la ruta 7, que anteriormente solo contaba con 2 viajes semanales, pues aunque es larga, contaba, y cuenta con baja demanda.

Warehouse Location Designer - [Assign Demand to Routes]							
Edit							
Non-Warehouse Regions	10. Michigan	16. Florida	22. Ohio	17. New England	18. New York	19. Pennsylvania	20. Virginia
Weekly Demand	408.528	380.924	69.425	31.953	293.713	145.765	76.532
Unassigned Demand	0	0	0	0	0	0	0
Route 1 : 14-> 10	408.528						
Route 2 : 14-> 16		380.924					
Route 3 : 14-> 22-> 17-> 18-> 19-> 20			69.425	31.953	293.713	145.765	76.532
Route 4 : 14-> 15-> 21							
Route 5 : 3-> 2-> 1-> 4-> 5-> 6							
Route 6 : 14-> 13-> 7							
Route 7 : 14-> 8-> 9-> 12-> 11							

Tabla 7.1. - 6 Distribución de la demanda por rutas

El resto de rutas continúan igual que se expuso en anteriores modelos.

Warehouse Location Designer - [Assign Demand to Routes]								
Edit								
Non-Warehouse Regions	15. Georgia	21. Carolina	13. Indiana	7. Minnesota	8. Kansas	9. Texas	12. Louisiana	11. Missouri
Weekly Demand	144.917	174.128	594.912	72.208	18.104	110.128	46.035	53.929
Unassigned Demand	0	0	0	0	0	0	0	0
Route 1 : 14-> 10								
Route 2 : 14-> 16								
Route 3 : 14-> 22-> 17-> 18-> 19-> 20								
Route 4 : 14-> 15-> 21	144.917	174.128						
Route 5 : 3-> 2-> 1-> 4-> 5-> 6								
Route 6 : 14-> 13-> 7			594.912	72.208				
Route 7 : 14-> 8-> 9-> 12-> 11					18.104	110.128	46.035	53.929

Tabla 7.1. -7 Distribución de la demanda por rutas

Almacenes y gestión de stock en el modelo FER07

En este modelo, respecto al similar (FER05) hemos incrementado la capacidad de ambos almacenes, el central desde 4,2 a 5 Mm.SqFt. y el de Los Angeles desde 0,8 a 1,2 Mm.SqFt. La subida en un 24% de la capacidad nos ha supuesto elevar el coste menos de un 15%, (antes \$5,78 Mm., y ahora \$7,77 Mm.) gracias a la función de coste de capacidad de almacenes.

Warehouse Location Designer - [Warehouse Cost Report]								
Edit Report								
WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Atlanta	0	\$0	0	\$0	242	\$0	\$0
2	Chicago	0	\$0	0	\$0	446	\$0	\$0
3	Cincinnati	0	\$0	0	\$0	250	\$0	\$0
4	Dallas	0	\$0	0	\$0	660	\$0	\$0
5	Kansas City	0	\$0	0	\$0	556	\$0	\$0
6	Los Angeles	1,200,000	\$2,235,000	13,520	\$101,400	2,025	\$385,505	\$77,719
7	Minneapolis	0	\$0	0	\$0	826	\$0	\$0
8	Nashville	5,000,000	\$5,535,000	13,520	\$101,400	0	\$0	\$0
9	New York City	0	\$0	0	\$0	892	\$0	\$0
10	Portland Or.	0	\$0	0	\$0	2,359	\$0	\$0
11	Salt Lake City	0	\$0	0	\$0	1,636	\$0	\$0
12	San Francisco	0	\$0	0	\$0	2,333	\$0	\$0
	Totals	6,200,000	\$7,770,000	27,040	\$202,800		\$385,505	\$77,719

Tabla 7.1. -8 Desglose de costes por AR

Los niveles de stock de seguridad según la clasificación de inventario en ABC también han sido reestudiados, de modo que la tasa de objetivo de llenado en los artículos “A”, cuya falta en backorder puede producirnos graves perjuicios, han sido elevados notablemente: hasta el 99%, es decir, que de cada 1.000 ud. solicitadas de A, serán entregadas de forma inmediata 990 ud.

Set Warehouse Design and Policy								
Warehouses	Capacity x 100000 SqFt	Trips per Week From Central	Cycle Stock A Weeks of Supply	Cycle Stock B Weeks of Supply	Cycle Stock C Weeks of Supply	Target Fill Rate A	Target Fill Rate B	Target Fill Rate C
Los Angeles	12	3,36	2,0	4,0	12,0	99,0 %	96,0 %	92,6 %
Nashville (Central)	50	0,50	2,0	4,0	12,0	99,0 %	96,0 %	90,5 %

Tabla 7.1. -9 Clasificación de tipos de Stock en AC y AR. Tasas objetivo de llenado por categoría.

Hemos procedido a emplear este sistema “de cobertura” en este tipo de artículos, puesto que el coste que han producido en el sistema de distribución, (no por costes financieros de inventario, sino por la capacidad de almacén necesaria) ha sido compensado con un mejor utilización de los mismos. La utilización de capacidad de almacenes, con estos niveles de stock era alta en modelos anteriores, pero en este, también se logra elevarlas al máximo: 100% para cada uno de los almacenes.

Warehouse Design and Policy Results								
Warehouses	Cycle Stock A	Cycle Stock B	Cycle Stock C	Safety Stock A	Safety Stock B	Safety Stock C	Total Stock (SqFt)	Capacity Utilization
Los Angeles	\$96.718	\$36.269	\$36.269	\$128.969	\$59.228	\$18.129	1.199.944	100,00 %
Nashville (Central)	\$680.794	\$255.298	\$255.298	\$250.407	\$114.721	\$8.414	4.999.780	100,00 %
Totals	\$777.512	\$291.567	\$291.567	\$379.376	\$173.949	\$26.543	6.199.724	

Tabla 7.1. -10 Coste de Stock y nivel de utilización de almacenes.

La capacidad de almacenes proyectada para el modelo anterior se ha mantenido. La utilización de camión se ha elevado al máximo (100%).

Warehouse Design and Policy Results						
Warehouses	Capacity Cost (\$/Yr)	Weekly Volume	Truck Util. (% of 115000)	Long Haul Cost From Central	Weeks Until Next Truck From Central	Estimated ReSupply Lead Time
Los Angeles	\$2,235,000	386,254	100,00 %	\$385,505	0,30	1,37
Nashville (Central)	\$5,535,000	2,718,825	0,00 %	\$0	2,00	2,43
Totals	\$7,770,000	3,105,079		\$385,505		

Tabla 7.1.-11 Coste de capacidad de almacenes.

7.2. Conclusiones. (Primera Parte)

El modelo elegido a la vista de los resultados obtenidos y según se ha expuesto en apartados anteriores es el **FERO7**, fruto de una cadena de correcciones de optimización, fundamentalmente a nivel de gestión de inventarios (A/B/C) y de sistema de transporte (análisis de Pareto). Las principales ventajas respecto al resto de modelos son:

❖ Económicamente

Alta rentabilidad, mantiene el beneficio antes de impuestos alcanzado en el modelo FER06:

\$22,05 Mm.

❖ Funcionalmente

- El tiempo de respuesta medio sufre una notable mejora sobre FER06, situándose en niveles cercanos a modelos estudiados que contaban con 3 almacenes regionales.

Tiempo de espera medio a BBP: **6,31 días**

- Únicamente han quedado tres rutas con tiempos de espera de pedidos superiores a 10 días , y el máximo también ha sido corregido respecto a todos los modelos anteriores, siendo ahora de: 11,91 días.

Ello supondrá mantener una imagen seria de empresa, sin clientes que perciban un trato diferencial por el hecho de solicitar menos demanda que otros. Creemos que redundarán en mantener y consolidar la clientela, y a medio / largo plazo, en nuevos clientes derivados de un buen servicio y de agilidad de gestión, que permitirá adentrarse en nuevas oportunidades.

❖ Estratégicamente

- El número de almacenes regionales es mínimo, por tanto el sistema será "fácilmente" subsanable si los plazos de entregas deben ser acortados. Sigue siendo un sistema "ágil y ligero" y, por ello, con gran capacidad de reacción frente a posibles cambios.

- La capacidad de los recursos está optimizada, y por tanto su coste. Tanto en almacenes como en camiones, se ha buscado la máxima utilización del recurso. En el caso concreto del transporte se han buscado múltiples de camión a la hora de distribuir las regiones en rutas, y en el caso de los almacenes se ha tenido muy en cuenta en todo momento la función de coste de capacidad de almacén.

Por tanto, entendemos que el número de almacenes en un sistema de distribución ha de ser el mínimo que mantenga un buen nivel de servicio y aconsejable abrir nuevos almacenes regionales únicamente con el objetivo de acortar plazos de entregas o en procesos de expansión del negocio.

Consideramos que este modelo ofrece altos beneficios y además una respuesta adecuada desde el punto de vista del cliente. Además, este tipo de implantación ESTE / OESTE permitirá seguir y conocer más de cerca los problemas de los clientes, contactos, negociaciones, etc...

El bajo número de almacenes, podríamos decir mínimo aceptable, también implica (si funcionan correctamente) capacidad de ampliar clientela y como consecuencia este tipo de infraestructuras de la empresa.

Es decir, con este modelo tenemos oportunidades de crecimiento futuras, el servicio al cliente es bueno, y los beneficios altos.

En la siguiente parte del proyecto el modelo de partida para poder aplicar algunos algoritmos y cálculos heurísticos cuya aplicación en este modelo de 22 regiones de venta y 11 posibles almacenes regionales hubiera sido menos eficiente (más costosa y menos aclaratoria).

PARTE II

TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN

"Llenroc Plastics Corporation"
MODELO SIMPLIFICADO



LLENROC PLASTICS CORPORATION. Simplificación del modelo.

Necesitamos un escenario con menos variables para continuar analizando nuestro problema bajo otros puntos de vista. Buscaremos un sistema análogo al utilizado en la primera parte del proyecto, pero simplificado para que nos permita plantear y calcular heurísticas y algoritmos cuya aplicación sería excesivamente engorrosa - sin software específico - en el escenario utilizado en la primera parte del proyecto.

La solución ha consistido en una adaptación inspirada en la empresa “Muebles Vistalegre”. Esta empresa de tamaño medio nos servirá de base para continuar nuestro proyecto. La fábrica de muebles es su único centro de distribución. Actualmente abastece a clientes en toda la península y Canarias, pero la mayor parte de la clientela (>80%) se sitúa dentro de la comunidad autónoma, Andalucía.



Ilustración 7.2-1: Numeración de nuevas RV en modelo simplificado

La demanda andaluza se considera concentrada en nueve puntos de nuestra geografía: las 8 capitales de provincia (Almería, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Jaén, Málaga y Sevilla), y Algeciras. Son los lugares donde tiene agentes de venta.

Para simplificar los cálculos reducimos el número de regiones de venta y limitamos la cantidad de posibles almacenes regionales. Con ello se reducen enormemente las posibles combinaciones de ubicación, planes de rutas de camiones, etc., ya que funcionan como variables anidadas.

Variables:	nº Regiones de Venta	nº Almacenes Regionales	Almacén Central
Sistema EE.UU.	22	11+AC	Nashville (Tenessi) = RV 14
Sistema: Andalucía	9	3+AC	Mancha Real (Jaén) = RV 7

Tabla 7.2-1 Comparación de variables modelo original vs simplificado.

De este modo tenemos un nuevo modelo que sigue siendo conceptualmente válido, y sobre el que poder aplicar y explicar métodos y técnicas de optimización que no se pudieron aplicar en la primera parte del proyecto.

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y SU ENTORNO

Muebles Vistalegre es una empresa de tamaño mediano (15 trabajadores) que cuenta con un único centro de producción o fábrica situada en el Polígono Industrial Angosto de Mancha Real³, a 15 Km. de Jaén. A efectos de este proyecto lo consideraremos ubicado dentro de la zona metropolitana de la ciudad de JAÉN, ya que siguiendo el objeto de este modelo buscamos la simplificación.

La empresa dedicada a la fabricación de mobiliario, centra su producción casi exclusivamente en dormitorio juvenil modular. Se trata, al igual que Llenroc Plastics Corporation, de productos populares, de bajo precio y gran variedad de colores y modulaciones posibles. Pese a ello, las composiciones que ofertan suelen tener una configuración similar.

Los elementos que suelen integrar una composición son:

- Cama nido + cama corredera inferior;
- Armario de dos puertas con cajón con puertas sobre el mismo y cajones (2 o 3) en los bajos;.
- Estantería-tren a colocar atornillada a pared, sobre cama nido.
- Estantería con puertas inferiores y 3 a 4 baldas.
- Mesitas de noche.
- Mesa de estudio independiente o tablero corredera bajo cama tren, si esta es alta.

Toda la producción se genera a partir de la misma materia prima: planchas moduladas de tablero contrachapado de melamina, herrajes, y cinta de cantar. Se mantienen ciertas pautas en las medidas de los productos finales que se pueden considerar bastante modulados.

El pedido se embala en la misma fábrica, y la organización de la carga en el camión suele organizarse de forma que el aprovechamiento de viajes es alto, en la medida que el volumen del pedido a suministrar sea “múltiplo” de la capacidad del camión.

La producción necesita una adaptación continua a las exigencias de los clientes, ya que la moda en colores y formas es un factor determinante en su producción. Ello implica niveles muy bajos de producción destinada a stock, ya que un exceso de stock podría considerarse en poco tiempo producto obsoleto. Se puede afirmar que se trabaja con el mínimo necesario para reposiciones debidas a fallos en la cadena de fabricación o golpes durante la carga o descarga.

Para esta empresa, la distribución física de los productos supone una gran parte de los costes de producción. Una mala política en este sentido puede suponer pérdidas en un medio plazo.

La empresa está planteando la posibilidad de alquilar algunos almacenes intermedios para poder servir a los agentes comerciales de las distintas provincias, reduciendo tanto los tiempos de entrega y los costes, por envíos mayores y a menor coste, que serán completados con los elementos que suelen variar la composición: colores de cajones, frentes de puerta.

³ Mancha Real: Es una población con una importante carga industrial. Dos nuevos sectores han destacado en las últimas décadas sobre la tradicional fabricación de aceite de oliva, en primer lugar, la fabricación de mobiliario, pasando a convertirse en primer foco de exportaciones a países del este, y, en segundo lugar la venta de productos informáticos, sector en crecimiento generado entorno al grupo empresarial de informática COFIMAN-UPI, de ámbito internacional y con un complejo sistemas de distribución, que incluye cadena propia y franquiciada de almacenes y tiendas al por menor (Tiendas UPI), y que bien podría haber servido de base para la continuación del presente proyecto en cuanto a la distribución en el ámbito de Europa.

Tal como se indica en el Informe FORESTAL 2001: *“El empleo en el sector de carpintería y mobiliario (más de 200.000 puestos de trabajo en España) se concentra principalmente en el subsector de fabricación de muebles, que en 1999 ocupaba unas 118.000 personas. A continuación, destaca la carpintería que, en el mismo año, ocupaba a 46.500 personas. En general, la industria del mueble presenta un alto grado de atomización, siendo casi total la ausencia de grandes grupos empresariales. La localización geográfica de la actividad del mueble difiere según los diferentes productos. El **mueble de melamina se concentra en Mancha Real (Jaén)**, y el mobiliario de madera maciza en Toledo, Soria, País Vasco, Valencia y Lucena (Córdoba)”*.

Al tratarse de una empresa joven, el excelente nivel de servicio a nuevos clientes ha de ser su marca distintiva, sin olvidar un precio capaz de competir con los grandes productores que se sitúan en esta misma región, en especial el entorno de Lucena, aunque la tipología es diferente, ya que se trata de muebles macizos de madera de pino.

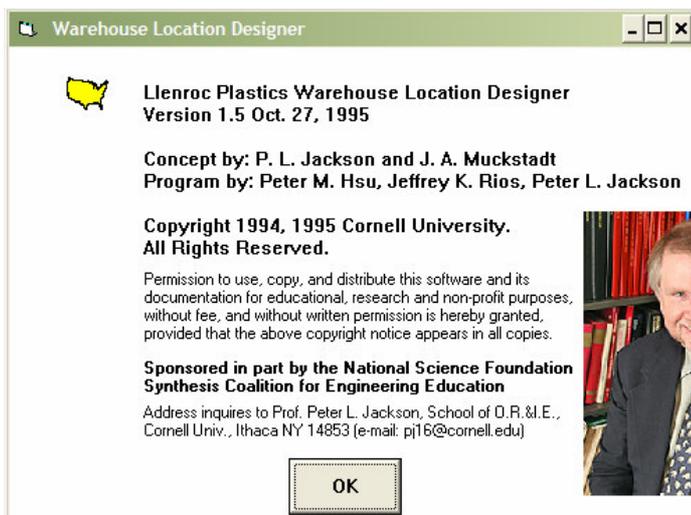
Todos estos focos productivos de mobiliario en Andalucía se han organizado en la denominada ruta del mueble, lo que puede convertirse en ventajas competitivas en aspectos relacionados con la distribución física, como por ejemplo el abaratamiento de costes de transportes de larga distancia para exportaciones a Europa del este.

8. PLANTEAMIENTO DEL NUEVO MODELO WLD SIMPLIFICADO.

8.1. Adaptación de software “Warehouse Location Designer”.

Como se indica en la introducción, para esta segunda parte del proyecto hemos creído más oportuno trasladarnos a un modelo más pequeño, sencillo y cercano, y por ello, más claro y válido para continuar con la explicación y análisis del diseño de sistemas de distribución física.

Agradecemos la colaboración del Profesor Peter L. Jackson, de la Universidad de Cornell y autor del software Warehouse Location Designer (Diseñador de localización de Almacenes) al proyecto, por la adaptación en la programación de su software WLD para que pudiéramos continuar utilizándolo en la segunda parte de este proyecto.



La versión de software adaptada expresamente para este proyecto presenta ahora el mapa de Andalucía y la reducción de variables, así como las nuevas ubicaciones de los centros de demanda.

También se han incluido los nuevos valores de demanda por cliente, costes de transporte, de flujo, de envío... y se ha limitado a tres el número máximo de almacenes (AC + 2 AR).

Ilustración 8.1-1: Datos del software WLD y su autor: P.L.Jackson

Con este sistema, aligerado en cuanto a número de variables, y conocido para nosotros, podremos explicar algoritmos y heurísticas diseñadas para cada uno de los problemas parciales, que componen el reto de diseñar un sistema de distribución física.



Ilustración 8.1. -1: Ubicación del nuevo Almacén Central (AC=Jaén)

8.2. Datos de partida

Adaptándonos al nuevo caso, pasamos a definir los datos de partida del nuevo sistema a diseñar. En nuestro sistema son los siguientes:

- Número de centros de producción o central, en nuestro caso: 1, el único Almacén Central que se sitúa en Jaén (AC=1 ← coincidente con la región de ventas nº 7 → RV7).
- Número de posibles Almacenes regionales, en nuestro caso: 2, junto al Almacén Central tendremos dos posibles Almacenes Regionales (AR ≤3)
- Número de regiones de venta o puntos donde consideramos concentrada la demanda, son las 8 capitales andaluzas y Algeciras, por tanto, 9.

Conocidos los datos de partida, conviene hacer las siguientes aclaraciones:

- La demanda de zona. Se considera conocida aunque podría haber sido objeto de otros posibles estudios de modelización, previsión futura, etc.
- La capacidad de producción de la fábrica, se considera coincidente con el total de la suma de la demanda
- Coste de transporte de una unidad de producto desde un origen a un destino. Es la matriz que hemos denominado distancia económica. Es un dato calculado de forma directa a partir de datos conocidos. Incluye el transporte desde AC a AR, y de AR a cada RV.
- Coste fijo de implantar un nuevo almacén en cada localización. Presupuestar debidamente esto en función de todos los costes que conllevan una nueva implantación, así como su correcto dimensionamiento ajustado al nivel de regiones de ventas abastecida (volumen de tránsito mínimo soportado por el posible AR) y políticas de stock para asegurar reabastecimientos rápidos, por tanto elevado grado de stock para aseguramiento de disponibilidad (volumen adicional según políticas de stock) supone ya por sí mismo un nuevo problema logístico. Buscar precisión en esta evaluación puede ser objeto de otros proyectos específicos.
- Capacidad en términos de flujo del almacén (AC o AR). Es decir, consideramos la capacidad definida por la demanda propia, más la que transita a otras RV, sin entrar en la derivada de diferentes niveles de stock.
- Coste desde AC a AR. Normalmente el transporte con mayor volumen implica una reducción del coste por economía de escala y mayor posibilidad de aprovechamiento (%) de carga.
- Coste de flujo en cada AR.

La demanda se concentra en las nueve capitales de provincia de Andalucía, y Algeciras. Dentro de estas 9 regiones de venta (9 RV), el almacén central se sitúa -a efectos de cálculo- en Jaén (RV nº7).

Habitualmente suele partirse en este tipo de problemas de las coordenadas de las distintas ubicaciones de clientes, de modo que el propio cálculo de localización podría variar o ajustar dichas coordenadas, lo que desplazaría, siempre dentro de un rango o ventana de valores, la ubicación de un posible almacén futuro.

En términos reales, este sistema se suele utilizar en grandes modelos con largas distancias y donde el nombre de la población a situar el almacén tiene un valor secundario (superlocalización y macrolocalización), prevaleciendo el posicionamiento estratégico (XY) a la logística enfocada al mercado.

Este ajuste de precisión de localización suele realizarse mediante otros procesos que consideren otros elementos de decisión que no son objeto de este proyecto (clientes reales y/o potenciales, accesos, suministradores, infraestructuras, niveles de tráfico...): microlocalización.

GraphicX	GraphicY
8062	4572
2156	5267
3375	6092
4088	2009
6159	3649
900	3551
5972	2139
4856	4898
2606	3128

Tabla 8.2-1 Coordenadas XY

La matriz que representa las distancias reales entre las distintas RV es la siguiente:

Distancias (km)	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén	Málaga	Sevilla	Promedio
Almería		615	344	364	166	608	283	210	503	387
Cádiz	615		127	268	347	248	360	268	145	297
Algeciras	344	127		294	262	274	341	138	187	246
Córdoba	364	268	294		200	236	105	172	133	222
Granada	166	347	262	200		373	91	164	269	234
Huelva	608	248	274	236	373		335	318	96	311
Jaén	283	360	341	105	91	335		236	234	248
Málaga	210	268	138	172	164	318	236		215	215
Sevilla	503	145	187	133	269	96	234	215		223

Tabla 8.2-2 Matriz de distancias

Establecemos el criterio de indicar siempre los orígenes de viaje en el eje horizontal superior (X) y los destinos en el vertical (Y). Es una apreciación importante porque dependiendo de la cantidad demandada por la región destino, los costes variables como los derivados de número de camiones o de envíos, variarán. Por tanto, no es una matriz simétrica.

Costes básicos (Km * Eur/Km)	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén	Málaga	Sevilla	Demanda anual	Demanda semanal	n° camiones semana
Almería	0,00 €	670,35 €	374,96 €	396,76 €	180,94 €	662,72 €	308,47 €	228,90 €	548,27 €	128.836	2.478	3
Cádiz	670,35 €	0,00 €	138,43 €	292,12 €	378,23 €	270,32 €	392,40 €	292,12 €	158,05 €	211.430	4.066	4
Algeciras	374,96 €	138,43 €	0,00 €	320,46 €	285,58 €	298,66 €	371,69 €	150,42 €	203,83 €	37.024	712	1
Córdoba	396,76 €	292,12 €	320,46 €	0,00 €	218,00 €	257,24 €	114,45 €	187,48 €	144,97 €	165.039	3.174	3
Granada	180,94 €	378,23 €	285,58 €	218,00 €	0,00 €	406,57 €	99,19 €	178,76 €	293,21 €	181.140	3.483	3
Huelva	662,72 €	270,32 €	298,66 €	257,24 €	406,57 €	0,00 €	365,15 €	346,62 €	104,64 €	101.794	1.958	2
Jaén	308,47 €	392,40 €	371,69 €	114,45 €	99,19 €	365,15 €	0,00 €	257,24 €	255,06 €	138.929	2.672	3
Málaga	228,90 €	292,12 €	150,42 €	187,48 €	178,76 €	346,62 €	257,24 €	0,00 €	234,35 €	305.810	5.881	5
Sevilla	548,27 €	158,05 €	203,83 €	144,97 €	293,21 €	104,64 €	255,06 €	234,35 €	0,00 €	381.662	7.340	7
										1.651.665		31

Tabla 8.2-3 Matriz de costes por viaje. Demanda anual y semanal. Número de camiones / semana.

Las distancias son referidas a carreteras y las rutas origen=destino son marcadas como “no posibles” (N/P).

El cálculo de costes unitarios de transporte en vehículo industrial corresponde con la publicación del Observatorio del Transporte por Carretera de Andalucía, y recoge todos los conceptos que integran el mismo, tal como se incluyen en el siguiente cuadro, que distingue además, el coste total unitario correspondiente a camiones en carga. No se considera este importe unitario en el estudio.⁴

Coste transporte mercancías por carretera		
	Coste anual	Distribución
Costos Directos	391.175,54 €	100,0%
Por tiempo	201.917,70 €	51,6%
Amortización vehículo	98.865,39 €	25,3%
Financiación vehículo	60.225,85 €	15,4%
Personal de conducción	24.053,73 €	6,1%
Seguros	6.112,87 €	1,6%
Costes fiscales	826,30 €	0,2%
Dietas	11.833,56 €	3,0%
Costes Kilométricos	189.257,84 €	48,4%
Combustible	98.865,39 €	25,3%
Neumáticos	60.225,85 €	15,4%
Mantenimiento	24.053,73 €	6,1%
Reparaciones	6.112,87 €	1,6%
Kilometraje anual (km/año)	120.000,00 €	100,0%
Kilometraje anual en vacío (km/año)	18.000,00 €	15,0%
Coste Total (eur/ Km recorrido)	3,26 €	
Coste Total (eur/ Km cargado)	3,84 €	

Tabla 8.2-4 Desglose de costes unitario de transporte. Fuente: Observatorio de Transporte de Mercancía por Carretera.

⁴ Dado que no es posible cambiar el precio de venta en WLD, el uso del precio real de transporte arrojaría beneficios negativos; por ello no se han podido utilizar los costes unitarios reales de transporte aquí detallados.

En cada región de ventas existe una demanda conocida, que se indica en el cuadro. Sería objeto de una posible ampliación del proyecto el cálculo de demanda estimada a medio y largo plazo en función de los históricos, añadiendo criterios como tendencias de crecimiento de población, renta, moda, etc... en distintos escenarios.

En la siguiente gráfica de burbujas referenciadas sobre el plano de Andalucía a través de las coordenadas XY que se indicaron anteriormente queda representado el volumen de demanda de cada región, lo que nos da una idea inicial del peso de cada región de ventas, e incluso, dada la sencillez y claridad del gráfico, éste nos invita a estimar posibles localizaciones de Almacenes Intermedios. No obstante iremos paso a paso estableciendo los datos de partida y posteriormente calcularemos las mejores soluciones.

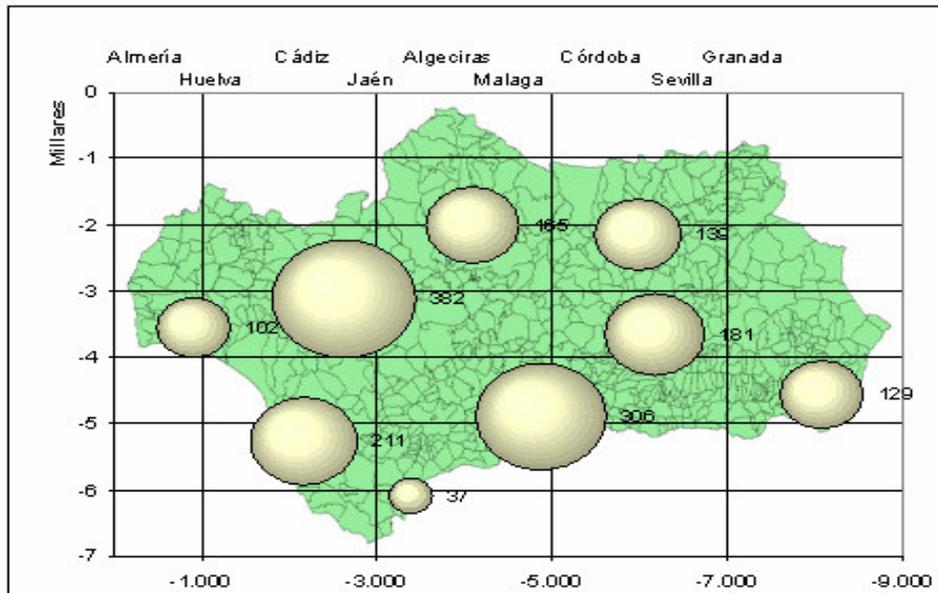


Ilustración 8.2-1: Diagrama de burbujas. Representa demanda por cada RV.

En función de la demanda semanal de cada región de ventas, y de la capacidad de los camiones empleados en el transporte, conoceremos el número de envíos (unidad de camión) necesarios por semana. La demanda dividida entre la capacidad unitaria de transporte me indicará el número mínimo necesario de camiones semanales para cada zona. La ida será con coste de unitario de transporte en carga, debe tenerse en cuenta que el cálculo por unidad transportada conlleva una parte de pérdida por capacidad de transporte no utilizada ya que no todos envíos completarán el volumen del camión al 100%. El recorrido de vuelta es en vacío, y por tanto, su precio inferior³.

Cada flete o envío conlleva unos costes fijos por cada envío. Además del coste fijo por número de envíos, y del coste de transportar las distintas cantidades entre orígenes y destinos, existen unos costes variables derivados de la preparación y manejo de la cantidad a transportar, son los denominados costes de flujo de almacén.

Otros costes	Costes anuales fijos por Fletes	Coste anual variable por flujo AC	costes anuales totales	Ingresos anuales s/Ecuac.1	Coste total materia prima
Almería	1.170,00 €	25.767,27 €	26.937,27 €	140.087,40 €	36.339,21 €
Cádiz	1.560,00 €	42.285,98 €	43.845,98 €	165.715,75 €	59.635,32 €
Algeciras	390,00 €	7.404,83 €	7.794,83 €	111.278,31 €	10.442,92 €
Córdoba	1.170,00 €	33.007,89 €	34.177,89 €	151.354,63 €	46.550,56 €
Granada	1.170,00 €	36.228,07 €	37.398,07 €	156.348,74 €	51.091,93 €
Huelva	780,00 €	20.358,80 €	21.138,80 €	131.637,01 €	28.711,73 €
Jaén	1.170,00 €	27.785,88 €	28.955,88 €	143.233,87 €	39.186,04 €
Malaga	1.950,00 €	61.161,95 €	63.111,95 €	194.667,25 €	86.255,83 €
Sevilla	2.730,00 €	76.332,36 €	79.062,36 €	217.677,03 €	107.650,46 €
	12.090,00 €	330.333,03 €	342.423,03 €	1.412.000,00 €	465.864,00 €

Tabla 8.2-5 Costes por flete y flujo. Ingresos por ventas. Costes de materia prima.

Como se indica en este cuadro también es conocido el ingreso anual, que responde a la siguiente función aproximada sacada por aproximación a partir de los valores de los ejercicios desarrollados en la primera parte del proyecto. El coste unitario de materia prima es sin embargo, fijo en el cálculo.

Ecuación para precio de venta:
$y = -2E-08x^2 + 0,3171x + 99400$
siendo x=cant.demanda de RV

Ecuación 1 Precio de venta. Obtenida desde resultados de modelos EE.UU.

Conocemos la distancia entre posibles orígenes y destinos, el costo de transporte por carretera (€/Km), cada viaje conllevará una ida y una vuelta -en principio- en vacío, el número de camiones necesarios para llevar la demanda de cada región desde un origen (AC o posible AR) a su destino final o intermedio, y las unidades a transportar a cada destino.

Con los datos indicados podemos hallar la siguiente matriz que podríamos denominar de **distancias económicas** ya que representa la “distancia en euros” desde el origen (eje x) al destino (eje y) y será la base para los cálculos en búsqueda de localizaciones de almacenes intermedios y asignaciones de regiones de venta a los mismos, o a la central, según convenga.

En esta matriz se muestran los costes correspondientes al transporte de las demandas totales de cada RV:

Costes TTE. Total demanda	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén	Malaga	Sevilla
Almería	0,00 €	104.574,60 €	58.493,76 €	61.894,56 €	28.226,64 €	103.384,32 €	48.121,32 €	35.708,40 €	85.530,12 €
Cádiz	139.432,80 €	0,00 €	28.793,44 €	60.760,96 €	78.671,84 €	56.226,56 €	81.619,20 €	60.760,96 €	32.874,40 €
Algeciras	19.497,92 €	7.198,36 €	0,00 €	16.663,92 €	14.850,16 €	15.530,32 €	19.327,88 €	7.821,84 €	10.599,16 €
Córdoba	61.894,56 €	45.570,72 €	49.991,76 €	0,00 €	34.008,00 €	40.129,44 €	17.854,20 €	29.246,88 €	22.615,32 €
Granada	28.226,64 €	59.003,88 €	44.550,48 €	34.008,00 €	0,00 €	63.424,92 €	15.473,64 €	27.886,56 €	45.740,76 €
Huelva	68.922,88 €	28.113,28 €	31.060,64 €	26.752,96 €	42.283,28 €	0,00 €	37.975,60 €	36.048,48 €	10.882,56 €
Jaén	48.121,32 €	61.214,40 €	57.983,64 €	17.854,20 €	15.473,64 €	56.963,40 €	0,00 €	40.129,44 €	39.789,36 €
Malaga	59.514,00 €	75.951,20 €	39.109,20 €	48.744,80 €	46.477,60 €	90.121,20 €	66.882,40 €	0,00 €	60.931,00 €
Sevilla	199.570,28 €	57.530,20 €	74.194,12 €	52.769,08 €	106.728,44 €	38.088,96 €	92.841,84 €	85.303,40 €	0,00 €

Tabla 8.2-6 Tabla de costes de transporte de total demanda.

Dividiendo estos importes de transporte entre la cantidad realmente transportada (demanda de cada destino) obtenemos nuestra matriz Cij, que muestra nuestros costes unitarios entre posibles orígenes (AC o AR) y destinos:

Coste unitario	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén	Malaga	Sevilla
Almería	0,000000 €	0,811686 €	0,454016 €	0,480412 €	0,219089 €	0,802447 €	0,373507 €	0,277161 €	0,663866 €
Cádiz	0,659475 €	0,000000 €	0,136184 €	0,287381 €	0,372094 €	0,265935 €	0,386034 €	0,287381 €	0,155486 €
Algeciras	0,526627 €	0,194423 €	0,000000 €	0,450083 €	0,401094 €	0,419465 €	0,522035 €	0,211263 €	0,286277 €
Córdoba	0,375029 €	0,276120 €	0,302908 €	0,000000 €	0,206060 €	0,243151 €	0,108181 €	0,177211 €	0,137030 €
Granada	0,155827 €	0,325736 €	0,245945 €	0,187744 €	0,000000 €	0,350142 €	0,085423 €	0,153950 €	0,252516 €
Huelva	0,677082 €	0,276178 €	0,305132 €	0,262815 €	0,415381 €	0,000000 €	0,373063 €	0,354132 €	0,106908 €
Jaén	0,346372 €	0,440615 €	0,417360 €	0,128513 €	0,111378 €	0,410017 €	0,000000 €	0,288848 €	0,286400 €
Malaga	0,194611 €	0,248361 €	0,127887 €	0,159396 €	0,151982 €	0,294697 €	0,218706 €	0,000000 €	0,199245 €
Sevilla	0,522898 €	0,150736 €	0,194398 €	0,138261 €	0,279641 €	0,099798 €	0,243257 €	0,223505 €	0,000000 €

Tabla 8.2-7 Costes unitarios según orígenes y destinos. Incluye coste indirecto por número de camiones fletados.

Los costes derivados del transporte desde el Almacén Central hasta la Región de Ventas elegida estarán compuestos por dos grandes tipos, dependiendo de que vayan antes a un almacén regional o no. Tendremos por tanto costes de AC a (posible) AR y costes de de AR (ó AC) hasta RV.

Tenemos también costes de implantación derivados de la superficie elegida para el almacén, que debe ser tal que soporte el volumen de material que debe ser almacenado en cada posible almacén regional, en función de las regiones de venta asignadas a éste y de las políticas de stock (frecuencia en el reaprovisionamiento).

La ecuación que hemos sacado de los resultados de la primera parte del proyecto que define el coste variable por superficie de almacén es la siguiente:

Ecuación coste superficie Almacén	
$y = 0,9771x + 1063,9$	
siendo x=superficie de almacén	

Ecuación 2 Coste por superficie de Almacén. Obtenida desde resultados de modelos EE.UU.

La composición de los costes variables con aquellos fijos resultantes del tamaño y coste de implantación de almacenes, número de envíos, etc...en las distintas combinaciones posibles de AR (nº y selección) y asignación de RV a los AR elegidos, nos dará unos totales. El valor mínimo del total de costes de transporte + ubicación nos lo ofrecerá la solución óptima a nuestro problema.

Minimizar esta función es el objetivo del problema.

Las rutas y subrutas seguidos por cada lote de mercancía deben ser los que arrojen un menor coste global y la búsqueda de esta solución se realizará mediante la utilización de Solver, en Microsoft Excel.

Se incluye en el cálculo una preselección de rutas posibles, ya que asignamos un coste “M” (cifra muy elevada) a aquellas rutas inviables, como origen igual a destino. De no incluir esta restricción, la combinación de transportes más barata resultante sería de coste cero, es decir, no mover la mercancía.

Otra forma de preselección adicional sería establecer otra matriz de variables binarias (posible=1 e imposible=0), usando el valor positivo para aquellas “distancias económicas” inferiores al promedio de distancias que llegan hasta cada región de ventas multiplicadas por un coeficiente fijo.

Cuando tengamos calculada la ubicación de los almacenes regionales (tres como máximo), tendremos, dentro de las rutas no prohibidas, las distancias económicas que inciden en la función de costos a minimizar.

En definitiva, los cálculos que efectuaremos a continuación están basados en los parámetros que se han explicado.

Otros valores utilizados para el diseño del modelo, en algunos casos calculados a partir de los resultados obtenidos en la primera parte del modelo son los siguientes:

nº Regiones de Venta	NºAlmacenes	Almacén central	Capacidad de camión	Velocidad media	Coste total unitario (€ / Km)
NumRegions	NumWH	CentralWH	TruckCap	AvgMPH	LongHaulRate
9	9	7	12	45	1,09 €

Máximas paradas	Dias prep. envíos	Coste fijo envío	Múltiplo de capacidad	nº máx. de rutas
MaxStops	PickPackDays	TransactionCost	CapMultiple	MaxRoutes
6	2	7,50 €	100	7

Tasa de interés	Horas por semana	Dias por semana	Horas por día	Hrs.por dia (conductor)	semanas por año
IntRate	HrsWk	DaysWk	HrsDay	DriverHrsDay	WksYr
20%	40	7	8	8	52

Tabla 8.2-8 Constantes de cálculo

La alteración de cualquiera de ellos conlleva variación en los resultados económicos y/o en los tiempos de llegada a cada uno de los clientes.

8.3. Variables de decisión.

Parámetros:

- i : Puntos donde se pueden localizar plantas.
- I : Set de plantas.
- j : Puntos donde se pueden ubicar almacenes.
- J : Set de almacenes a localizar.
- k : Consumidores con demanda.
- K : Set de consumidores.
- c_{ij} : Costo unitario de transporte entre planta i y almacén j .
- c_{jk} : Costo unitario de abastecer al consumidor k del almacén j .
- f_i : Costo fijo o inversión al instalar planta i .
- g_j : Costo fijo o inversión de instalar almacén j .
- a_i : Capacidad de producción de planta i .
- b_j : Capacidad de almacén j .
- d_k : Demanda del consumidor k .
- u_j : Costo unitario de flujo en el almacén j .

A partir de estos parámetros conocidos o previos, vamos identificar aquellas variables de decisión o incógnitas que debemos calcular para definir la solución óptima al problema que hemos de solucionar.

Variables de Decisión:

- x_{ij} : Cantidad de producto transportado de planta (AC) i al almacén (AR) j .
- x_{jk} : Cantidad de producto transportado de almacén (AR) j al consumidor (RV) k .
- y_i : Variable binaria que indica si se abre una planta (AC).
- z_j : Variable binaria que indica si un almacén (AR) se abre.

8.4. Formulación matemática del problema.

Corresponde este modelo a un problema de transporte+trasbordo, el modelo suele ser denominado de Hubs o Multilayer Plant Location. Es el primer paso para calcular el problema, definirá las cantidades óptimas a transportar desde el origen u orígenes posibles a los destinos definidos, de tal modo que se satisfaga el total de la demanda (conocida).

$$\text{Min } Z = \sum \sum c_{ij} x_{ij} + \sum \sum c_{jk} x_{jk} + \sum f_i y_i + \sum g_j z_j + \sum \sum u_j z_j d_k$$

Ecuación 3 Función Objetivo referida a costes de transporte.

$$\begin{aligned} \sum x_{jk} &= d_k, \quad k \in K \\ \sum x_{ij} &< a_i y_i, \quad i \in I \\ \sum x_{jk} &< b_j z_j, \quad j \in J \\ \sum x_{ij} &= \sum x_{jk}, \quad j \in J \\ y_i &\in \{0,1\}, \quad i \in I \\ z_j &\in \{0,1\}, \quad j \in J \\ u_j &> 0, \quad j \in J \\ x_{jk} &> 0, \quad j \in J, k \in K \\ x_{ij} &> 0, \quad i \in I, j \in J \end{aligned}$$

Los términos que forma la ecuación a minimizar pueden ser descritos como:

- 1) $\sum \sum C_{ij} X_{ij}$: Define el coste de transporte denominado “Long Haul desde central”. Se obtiene multiplicando la matriz de costes unitarios de transporte entre AC (Jaén) y cada posible AR, por la cantidad a transportar, que será la demanda de cada zona.
- 2) $\sum \sum C_{jk} X_{jk}$: Define el coste de transporte denominado “Long Haul hasta BBP”. Se obtiene multiplicando la matriz de costes unitarios de transporte entre los posibles almacenes regionales (AR) y cada cliente, representado por regiones de venta (RV), por la cantidad a transportar.

Las matrices y costes C_{ij} y C_{jk} son representadas conjuntamente, completando la matriz de 9 orígenes y 9 destinos. Si bien el destino AC o RV7 (Jaén) es únicamente para el autoabastecimiento que se produce en central.

En el apartado de aplicación de Solver para la resolución del problema iremos presentado las operaciones entre las distintas matrices de datos que definen la función de costes del modelo y que se presentan a continuación:

- 3) $\sum f_i y_i$: Coste fijo por instalar un AC, si se instala: Este término en nuestro problema está definida por un valor positivo para la RV 7, es decir, sólo en Jaén existe el almacén central. Pero, si abrimos otros almacenes regionales, la superficie del AC se verá reducida. Debido a la función de costes que lo define, existirán ligeras variaciones en el cálculo. De abrir la posibilidad de este cálculo obtendríamos un posible nuevo centro de producción, que conllevaría un coste por superficie pero ahorraría transporte Long Haul desde Central hasta BBP.
- 4) $\sum g_j z_j$: Coste fijo por instalar un AR, si se instala. Coste fijo por instalar un AR, si se instala: Este coste que podemos considerar fijo por nueva superficie de almacén instalada, es en realidad resultante de una función de costes que premia la mayor superficie, abaratando su coste unitario. La posibilidad de instalación puede convertirse en valor o no mediante variable binaria y_j .
- 5) $\sum \sum u_j z_j d_k$: Coste unitario de flujo en AR, por la cantidad que pasa por él. Representa el coste de carga y descarga y utilización de los posibles AR. El coste unitario de esta transacción, si se produce o no, multiplicado por la cantidad objeto de la misma es el cálculo del que se obtiene este término.

Por otro lado, las restricciones nos indican lo siguiente:

- 6) $\sum x_{jk} = d_k, k \in K$ La cantidad demandada por las RV completan la producción.
- 7) $\sum x_{ij} \leq a_i y_i, i \in I$ La cantidad transportada desde AC a los AR finalmente elegidos será menor o igual que la cantidad producida.
- 8) $\sum x_{jk} \leq b_j z_j, j \in J$ La cantidad transportada desde los AR a las RV (destinos finales) será menor o igual a la capacidad dispuesta de almacenes regionales.
- 9) $\sum x_{ij} = \sum x_{jk}, j \in J$ La cantidad transportada desde el AC a los AR finalmente elegidos será igual a la cantidad que finalmente llega desde los AR a las RV, es decir, en los almacenes no deben quedar cantidades no asignadas.

8.5. Cálculos iniciales para posterior optimización

Antes de adentrarnos en los cálculos de optimización hemos realizado varias simulaciones sobre el modelo, a fin de conocer los resultados que arroja el software para distintas alternativas.

- 6.1.1. Modelo ANDALC.WHL: Centralizado. Base para posterior cálculo con Solver.
- 6.1.2. Modelo ANDAL0.WHL: Centralizado. 3 grandes rutas lógicas.
- 6.1.3. Modelo ANDALZ.WHL: Doble Central: AC=Jaén; Ar=Sevilla.
- 6.1.4. Modelo ANDAL1.WHL: Doble Central: AC=Jaén; AR=Sevilla. Con reestudio de Rutas

Partimos de un modelo (ANDALC.WHL) en el que veremos los máximos costes de transporte. Toda la mercancía se lleva desde central en rutas de un solo destino (ida y vuelta).

Sobre él hemos realizado tres ejercicios de tanteo previos antes de utilizarlo como modelo de partida para la optimización en el siguiente apartado.

El modelo ANDAL0 reagrupa las 8 rutas iniciales en tres ejes. A continuación se establece un nuevo y único almacén regional (AR) en Sevilla, y posteriormente se reestudiarán las rutas sobre ese modelo.

Al final, ya con el modelo resultante de la optimización mediante Solver (Microsoft Excel), se realizará una comparación entre los distintos modelos.

8.5.1. Modelo ANDALC.WHL: Base para posterior cálculo con SOLVER.

Este modelo constituye el sistema más básico, o el enunciado a partir del cual vamos a tratar de buscar la mejor solución.

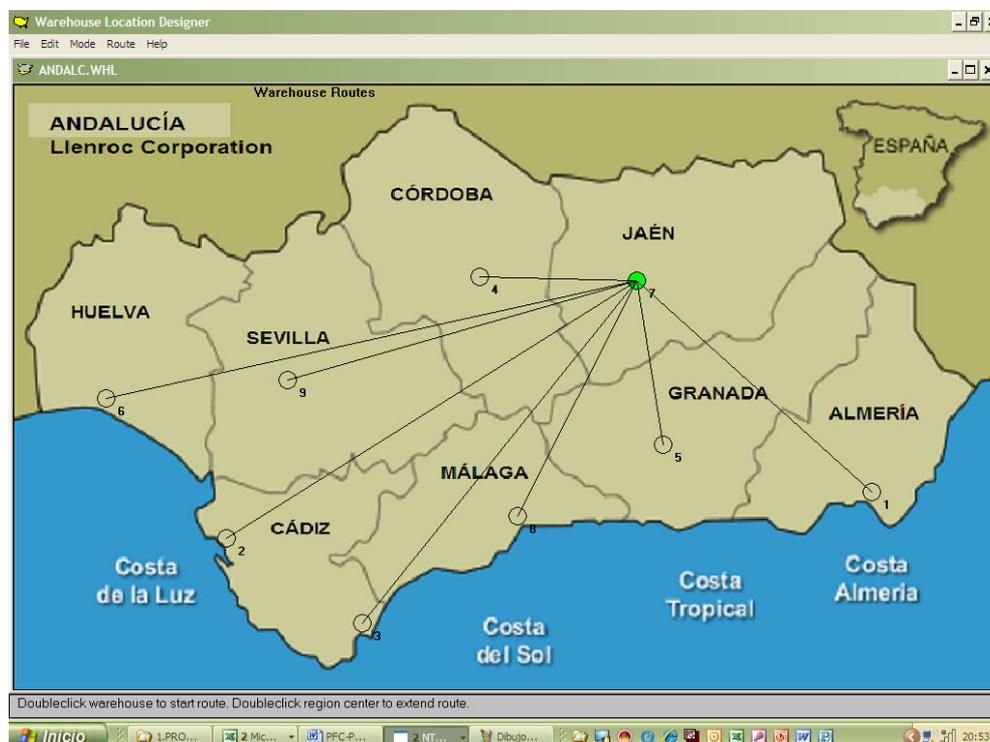


Ilustración 8.5.1-1: Asignación de RV a AC y rutas.

Únicamente vamos a considerar el almacén central situado en Jaén, y desde él se suministrará cada demanda correspondiente a cada región de ventas. No se considerarán rutas inicialmente, sino ida y vuelta a cada región de ventas.

Assign Demand to Routes															
Non-Warehouse Regions	1. Almería	2. Cádiz	3. Algeciras	4. Córdoba	5. Granada	6. Huelva	8. Málaga	9. Sevilla	Totals	Trips per Week	Total per Trip	Truck Utilization	Days Until Next Truck	Route Length (mi.)	Transport Cost (\$/yr)
Weekly Demand	25	41	7	32	35	20	59	73	292						
Unassigned Demand	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Route 1: 7->4				32					32	3	11	91,67%	2,3	105	\$17.854
Route 2: 7->9								73	73	7	10	83,33%	1,0	234	\$32.942
Route 3: 7->6						20			20	2	10	83,33%	3,5	335	\$37.976
Route 4: 7->2		41							41	4	10	83,33%	1,8	360	\$81.619
Route 5: 7->3			7						7	1	7	58,33%	7,0	341	\$19.328
Route 6: 7->8							59		59	5	12	100,00%	1,4	236	\$66.882
Route 7: 7->5					35				35	3	12	100,00%	2,3	91	\$15.474
Route 8: 7->1	25								25	3	8	66,67%	2,3	283	\$48.121

Tabla 8.5.1-1 Asignación de demanda por rutas, número de camiones y utilización. Esperas y costes transporte.

El número de camiones por semana necesarios para llevar la demanda a cada RV se muestra en el cuadro anterior. A partir de estos datos conocemos el nivel porcentual de carga o aprovechamiento del viaje (recordemos que cada camión puede llevar 12 ud), los días de espera hasta próximo camión, la longitud de ruta y, así, el coste de transporte correspondiente a cada RV.

Set Warehouse Design and Policy									
Warehouses	Capacity x 10 SqFt	Trips per Week From Central	Cycle Stock A Weeks of Supply	Cycle Stock B Weeks of Supply	Cycle Stock C Weeks of Supply	Target Fill Rate A	Target Fill Rate B	Target Fill Rate C	
Jaén (Central)	52	14,74	2,0	4,0	12,0	99,0%	98,0%	97,0%	

Tabla 8.5.1-2 Tiempos de reaprovisionamiento previstos. Tasas objetivo de llenado según clasificación ABC del stock.

Los resultados del modelo son los que se exponen a continuación:

Warehouse Location Designer - [Net Income Statement]				
Edit Report				
Sales Revenue				\$1.412.000
CGS @ \$28,20/SqFt				\$465.864
Gross Profit				\$946.136
Warehouse Capacity Cost				\$1.572
Warehouse Transaction Cost				\$2.695
Transportation Cost:				
Long Haul from Central			\$0	
Long Haul to BBP			\$380.096	
Short Haul to Customers			\$62.280	
Total Transportation Cost				\$442.376
Inventory Investment:				
Pipeline Stock from Central		\$0		
Pipeline Stock to BBP		\$766		
Cycle Stock		\$12.542		
Safety Stock		\$1.844		
Total Inventory Investment			\$15.152	
Investment Finance Cost @ 5,0%				\$758
Total Distribution System Cost				\$447.400
Net Income Before Tax				\$498.736

Warehouse Locati	
Edit Report	
Annual Net Income	Avg. Cust. Wait (days)
\$498.736	4,36

Tabla 8.5.1-3 Detalle de resultados económicos y tiempo de espera

WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Almería	0	\$0	0	\$0	283	\$0	\$0
2	Cádiz	0	\$0	0	\$0	360	\$0	\$0
3	Algeciras	0	\$0	0	\$0	341	\$0	\$0
4	Córdoba	0	\$0	0	\$0	105	\$0	\$0
5	Granada	0	\$0	0	\$0	91	\$0	\$0
6	Huelva	0	\$0	0	\$0	335	\$0	\$0
7	Jaén	520	\$1.572	359	\$2.695	0	\$0	\$0
8	Málaga	0	\$0	0	\$0	236	\$0	\$0
9	Sevilla	0	\$0	0	\$0	234	\$0	\$0
Totals		520	\$1.572	359	\$2.695		\$0	\$0

Tabla 8.5.1-4 Desglose de costes de AR

8.5.2. Modelo ANDALO.WHL: CENTRALIZADO. 3 Grandes Rutas Lógicas.

En este caso hemos decidido partir de la centralización máxima, pero hemos asignado las mínimas rutas, conocidas las limitaciones impuestas en programa: máximo número de rutas establecido en 5, e imposibilidad relativa de viajar desde Huelva a Cádiz por carretera sin pasar por Sevilla. Ruta que podría modelarse como ruta prohibida.

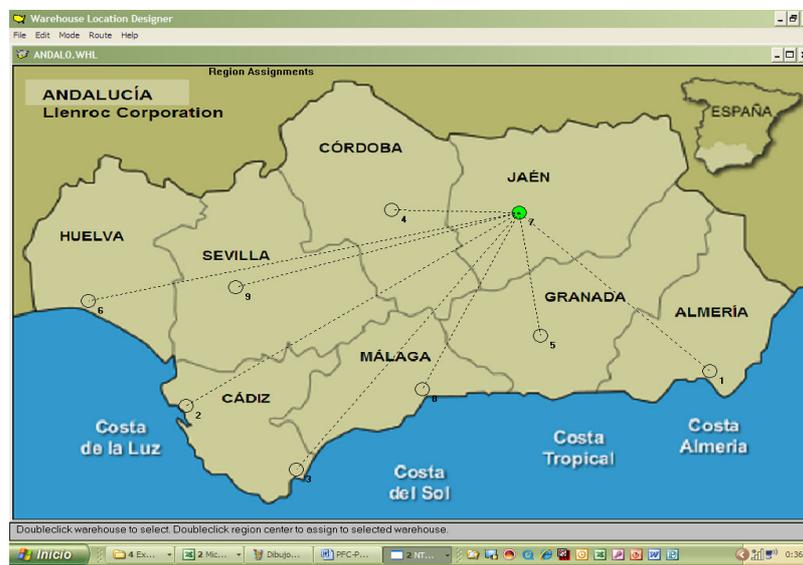


Ilustración 8.5.2-1: Asignación de RV

No se trazan rutas que lleguen a destinos compartidos, y el criterio de trazado es visitar primero el punto de demanda más cercano.



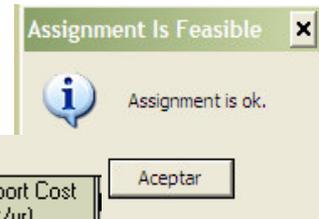
Ilustración 8.5.2-2: Rutas previstas.

En el siguiente cuadro se presenta la asignación de demanda a rutas.

Non-Warehouse Regions	1. Almería	2. Cádiz	3. Algeciras	4. Córdoba	5. Granada	6. Huelva	8. Málaga	9. Sevilla	Totals
Weekly Demand	25	41	7	32	35	20	59	73	292
Unassigned Demand	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Route 1 : 7-> 4-> 9-> 6				32		20		73	125
Route 2 : 7-> 8-> 3-> 2		41	7				59		107
Route 3 : 7-> 5-> 1	25				35				60

Tabla 8.5.2-1 Asignación de demanda a rutas

A continuación, dada la capacidad de camión y buscando su máxima utilización, hemos asignado el número de camiones necesarios. Tendremos dada una velocidad establecida media y la longitud de la ruta, el coste de transporte por ruta.



Non-Warehouse Regions	Total per Trip	Trips per Week	Truck Utilization	Days Until Next Truck	Route Length (mi.)	Transport Cost (\$/yr)
Weekly Demand						
Unassigned Demand						
Route 1 : 7-> 4-> 9-> 6	11	11	91,67 %	0,6	334	\$208.242
Route 2 : 7-> 8-> 3-> 2	12	9	100,00 %	0,8	501	\$255.570
Route 3 : 7-> 5-> 1	12	5	100,00 %	1,4	257	\$72.834

Tabla 8.5.2-2 Viajes por semana. Ocupación de camiones. Costes de transporte.

Con estas premisas derivadas de las rutas y distribución de camiones, y con las siguientes establecidas:

- La política de disponer de una tasa objetivo abastecer el 99, 98 y 97% de los distintos tipos de productos ABC.
- Con una frecuencia de suministro de stock de ciclo de 2, 4 y 12 semanas, para esas mismas categorías.

Necesitaremos una superficie de almacén de 520 ud (52 x 10).

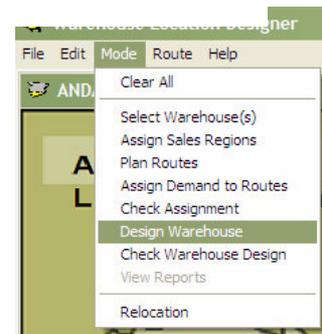
Warehouses	Capacity x 10 SqFt	Trips per Week From Central	Cycle Stock A Weeks of Supply	Cycle Stock B Weeks of Supply	Cycle Stock C Weeks of Supply	Target Fill Rate A	Target Fill Rate B	Target Fill Rate C
Jaén (Central)	52	14,74	2,0	4,0	12,0	99,0 %	98,0 %	97,0 %

Tabla 8.5.2-3 Dimensión de AC. Tiempos de reaprovisionamiento. Tasas objetivo de llenado.

Calculados los costos de capacidad derivados, el volumen semanal de tránsito.

Tabla 8.5.2-4 Diseño de almacenes.

Warehouses	Capacity Cost (\$/Yr)	Weekly Volume	Truck Util. (% of 12)	Long Haul Cost From Central	Weeks Until Next Truck From Central	Estimated ReSupply Lead Time
Jaén (Central)	\$1.572	318	0,00 %	\$0	0,07	0,35
Totals	\$1.572	318		\$0		



La valoración de stocks de ciclo, se seguridad, de transacción y la utilización de almacenes aparece en el siguiente cuadro. Finalmente verificamos que el diseño se ha realizado correctamente.

Warehouses	Cycle Stock A	Cycle Stock B	Cycle Stock C	Safety Stock A	Safety Stock B	Safety Stock C	Total Stock (SqFt)	Capacity Utilization	Annual No. of Transactions	Transaction Cost
Jaén (Central)	\$7.167	\$2.688	\$2.688	\$1.658	\$186	\$0	510	98,11 %	359	\$2.695
Totals	\$7.167	\$2.688	\$2.688	\$1.658	\$186	\$0	510		359	\$2.693

Tabla 8.5.2-5 Stock por categorías ABC y nivel de utilización del AC

Dentro del submenú *mode* de WLD puede apreciarse el eje de decisiones ordenadas de un sistema de distribución.

Seleccionados los almacenes, asignadas las regiones de venta, planteadas las rutas y asignada la demanda a las mismas, se procederá a verificar estos aspectos previos.

A continuación se diseñan los almacenes en cuanto a superficie necesaria por los movimientos previstos, y las políticas de inventario elegidas.

En este punto se verifica la validez global del diseño y estaremos preparados para ver los resultados.

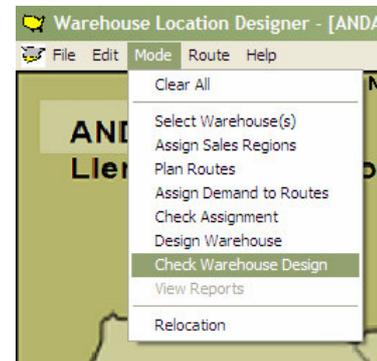


Ilustración 8.5.2-3: Comprobación de diseño almacenes.

Los resultados básicos son [ventana *Scorecard*]: Un beneficio de 342.182 unidades monetarias y una espera de 3,42 días. Estos servirán de base para continuar con el estudio. En la ventana siguiente veremos los costes que intervienen en nuestra empresa y que, restados a los ingresos por ventas nos darán el ingreso neto antes de impuestos (resultado económico del modelo).

En las siguientes tablas observamos los tiempos de espera desglosados para cada destino o región de ventas, y el cálculo de costes derivados de la capacidad de almacén, número de transacciones anuales, costes de transporte (AC → AR) y stock de tránsito.

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Almería	7,81 %	0,01	2,00	1,40	0,71	4,12
2	Cádiz	12,77 %	0,01	2,00	0,78	1,39	4,18
3	Algeciras	2,24 %	0,01	2,00	0,78	1,04	3,82
4	Córdoba	9,99 %	0,01	2,00	0,64	0,29	2,93
5	Granada	10,96 %	0,01	2,00	1,40	0,25	3,66
6	Huelva	6,17 %	0,01	2,00	0,64	0,93	3,57
7	Jaén	8,41 %	0,01	2,00	0,00	0,00	2,01
8	Málaga	18,52 %	0,01	2,00	0,78	0,66	3,44
9	Sevilla	23,12 %	0,01	2,00	0,64	0,66	3,30
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,01	2,00	0,77	0,65	3,42

Tabla 8.5.2-6 Detalle de tiempo de reabastecimiento y espera de RV

En nuestro modelo estas dos últimas variables son nulas por no existir ningún almacén intermedio.

WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Almería	0	\$0	0	\$0	283	\$0	\$0
2	Cádiz	0	\$0	0	\$0	360	\$0	\$0
3	Algeciras	0	\$0	0	\$0	341	\$0	\$0
4	Córdoba	0	\$0	0	\$0	105	\$0	\$0
5	Granada	0	\$0	0	\$0	91	\$0	\$0
6	Huelva	0	\$0	0	\$0	335	\$0	\$0
7	Jaén	520	\$1.572	359	\$2.695	0	\$0	\$0
8	Málaga	0	\$0	0	\$0	236	\$0	\$0
9	Sevilla	0	\$0	0	\$0	234	\$0	\$0
	Totals	520	\$1.572	359	\$2.695		\$0	\$0

Tabla 8.5.2-7 Costes por capacidad, transacciones, transporte y stock en tránsito.

Annual Net Income	Avg. Cust. Wait (days)
\$342.182	3,42

Sales Revenue		\$1.412.000	
CGS @ \$28,20/SqFt		\$465.864	
Gross Profit			\$946.136
Warehouse Capacity Cost		\$1.572	
Warehouse Transaction Cost		\$2.695	
Transportation Cost:			
Long Haul from Central		\$0	
Long Haul to BBP		\$536.646	
Short Haul to Customers		\$62.280	
Total Transportation Cost		\$598.926	
Inventory Investment:			
Pipeline Stock from Central	\$0		
Pipeline Stock to BBP	\$829		
Cycle Stock	\$12.542		
Safety Stock	\$1.844		
Total Inventory Investment		\$15.215	
Investment Finance Cost @ 5,0%		\$761	
Total Distribution System Cost			\$603.954
Net Income Before Tax			\$342.182

Tabla 8.5.2-8 Resumen de resultados económicos y tiempo de espera.

A continuación analizaremos el mismo modelo poniendo un almacén en Sevilla que abastecería a los destinos más occidentales (Huelva, Cádiz y Algeciras).

8.5.3. Modelo ANDALUZ.WHL: DOBLE CENTRAL: AC=JAÉN; AR=SEVILLA.

En este modelo, como en la solución propuesta finalmente para el modelo americano, se independiza la zona más occidental para acercarnos al cliente.

En realidad, la decisión de una posible nueva localización es muy dependiente de (1) el tipo de producto, ya que si su transporte tiene un peso determinante entre sus costes, por ejemplo, producto con precio de venta bajo y dimensiones voluminosas, y el establecimiento de una nueva implantación no es excesivamente cara, puede resultar aconsejable, o si (2) la demanda exige estar cerca del suministrador.

En definitiva, el almacén actúa en la cadena de suministros como válvula para controlar el mercado, presentando dos funciones básicas:

1) Equilibrado de:

- a) La producción en serie vs la demanda imprevisible
- b) Producción irregular y estacional frente a la demanda anual
- c) Acumulación de existencias para puntas de demanda

2) Redistribución:

El producto entre fabricante y detallista, asegurando disponibilidad.

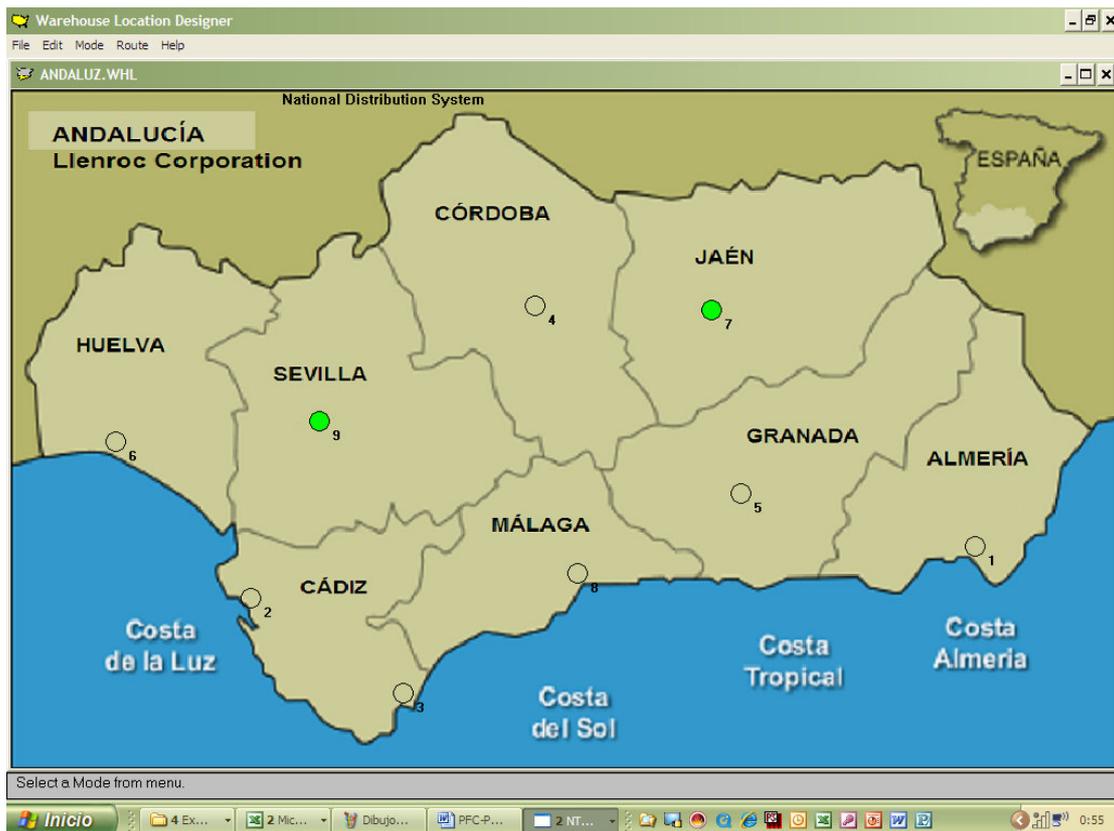


Ilustración 8.5.3-1: AC y nuevo AR en Sevilla

Las cuatro rutas planteadas, y el orden de recorrido se muestran en las siguientes ilustraciones:



Ilustración 8.5.3-2: Nuevas rutas y pantalla descriptiva

A continuación se muestra el resto de ventanas de decisiones que nos llevan al final del modelo:

Set Warehouse Design and Policy					
Warehouses	Capacity x 10 SqFt	Trips per Week From Central	Cycle Stock A Weeks of Supply	Cycle Stock B Weeks of Supply	Cycle Stock C Weeks of Supply
Jaén (Central)	34	14,74	2,0	4,0	12,0
Sevilla	26	11,73	2,0	4,0	12,0

Warehouse Design and Policy Results						
Warehouses	Capacity Cost (\$/Yr)	Weekly Volume	Truck Util. (% of 12)	Long Haul Cost From Central	Weeks Until Next Truck From Central	Estimated ReSupply Lead Time
Jaén (Central)	\$1.396	177	0,00 %	\$0	0,07	0,35
Sevilla	\$1.318	141	100,00 %	\$155.587	0,09	0,46
Totals	\$2.714	318		\$155.587		

Warehouses	Cycle Stock A	Cycle Stock B	Cycle Stock C	Safety Stock A	Safety Stock B	Safety Stock C	Total Stock (SqFt)	Capacity Utilization	Annual No. of Transactions	Transaction Cost
Jaén (Central)	\$3.991	\$1.497	\$1.497	\$1.658	\$186	\$0	313	92,08 %	200	\$1.501
Sevilla	\$3.176	\$1.191	\$1.191	\$1.140	\$49	\$108	243	93,49 %	159	\$1.194
Totals	\$7.167	\$2.688	\$2.688	\$2.798	\$235	\$108	556		359	\$2.693

Tabla 8.5.3-1 Diseño de almacenes

Las ventanas de resultados son las siguientes:

Warehouse Location Designer - [Net Income Statement]				
Edit Report				
Sales Revenue			\$1.412.000	
CGS @ \$28.20/SqFt			\$465.864	
Gross Profit				\$946.136
Warehouse Capacity Cost			\$2.715	
Warehouse Transaction Cost			\$2.695	
Transportation Cost:				
Long Haul from Central		\$155.587		
Long Haul to BPP		\$420.736		
Short Haul to Customers		\$62.280		
Total Transportation Cost			\$638.603	
Inventory Investment:				
Pipeline Stock from Central	\$369			
Pipeline Stock to BPP	\$688			
Cycle Stock	\$12.542			
Safety Stock	\$3.141			
Total Inventory Investment		\$16.741		
Investment Finance Cost @ 5,0%			\$837	
Total Distribution System Cost				\$644.850
Net Income Before Tax				\$301.286

Annual Net Income	Avg. Cust. Wait (days)
\$301.286	3,51

Warehouse Cost Report									
WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)	
1	Almería	0	\$0	0	\$0	283	\$0	\$0	
2	Cádiz	0	\$0	0	\$0	360	\$0	\$0	
3	Algeciras	0	\$0	0	\$0	341	\$0	\$0	
4	Córdoba	0	\$0	0	\$0	105	\$0	\$0	
5	Granada	0	\$0	0	\$0	91	\$0	\$0	
6	Huelva	0	\$0	0	\$0	335	\$0	\$0	
7	Jaén	340	\$1.396	200	\$1.501	0	\$0	\$0	
8	Málaga	0	\$0	0	\$0	236	\$0	\$0	
9	Sevilla	260	\$1.318	159	\$1.194	234	\$155.587	\$369	
Totals		600	\$2.715	359	\$2.695		\$155.587	\$369	

Customer Service Report							
Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Almería	7,81 %	0,01	2,00	0,70	1,57	4,28
2	Cádiz	12,77 %	0,01	2,00	1,75	0,87	4,63
3	Algeciras	2,24 %	0,01	2,00	1,75	0,52	4,28
4	Córdoba	9,99 %	0,01	2,00	2,33	0,29	4,63
5	Granada	10,96 %	0,01	2,00	0,70	1,11	3,82
6	Huelva	6,17 %	0,01	2,00	3,50	0,27	5,77
7	Jaén	8,41 %	0,01	2,00	0,00	0,00	2,01
8	Málaga	18,52 %	0,01	2,00	0,70	0,66	3,36
9	Sevilla	23,12 %	0,01	2,00	0,00	0,00	2,01
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,01	2,00	0,97	0,53	3,51

Tabla 8.5.3-2 Resultados económicos, detalle y tiempos de espera.

8.5.4. Modelo ANDAL1.WHL: DOBLE CENTRAL: Con Reestudio De Rutas

Este nuevo modelo coincide básicamente el anterior, pero optando por reajustar la ruta de Cádiz, visitando antes esta ciudad y permitiendo la vuelta camiones desde Algeciras en vacío, que siempre es más económico.

La demanda de Málaga, que era determinante, será abastecida de forma directa desde central. Así hacemos más corta la espera de Granada y Almería.

Esta ilustración muestra las nuevas rutas.



Ilustración 8.5.4-1: Nuevas rutas

Las otras decisiones de este modelo se muestran en las siguientes tablas:

Non-Warehouse Regions	1. Almería	2. Cádiz	3. Algeciras	4. Córdoba	5. Granada	6. Huelva	8. Málaga	Totals	Trips per Week	Total per Trip	Truck Utilization	Days Until Next Truck	Route Length (mi.)	Transport Cost (\$/yr)
Weekly Demand	25	41	7	32	35	20	59	219						
Unassigned Demand	0	0	0	0	0	0	0	0						
Route 1 : 9-> 6						20		20	2	10	83,33 %	3,5	96	\$10.883
Route 2 : 9-> 2-> 3		41	7					48	4	12	100,00 %	1,8	272	\$61.668
Route 3 : 7-> 4				32				32	3	11	91,67 %	2,3	105	\$17.854
Route 4 : 7-> 8							59	59	5	12	100,00 %	1,4	236	\$66.882
Route 5 : 7-> 5-> 1	25				35			60	5	12	100,00 %	1,4	257	\$72.834

Tabla 8.5.4-1 Asignación de demanda a rutas.

Warehouses	Capacity x 10 SqFt	Trips per Week From Central	Cycle Stock A Weeks of Supply	Cycle Stock B Weeks of Supply	Cycle Stock C Weeks of Supply	Target Fill Rate A	Target Fill Rate B	Target Fill Rate C
Jaén (Central)	34	14,74	2,0	4,0	12,0	99,0 %	98,0 %	97,0 %
Sevilla	26	11,73	2,0	4,0	12,0	99,0 %	98,0 %	99,0 %

Tabla 8.5.4-2 Dimensionamiento de AC según políticas de inventario.

Warehouses	Capacity Cost (\$/Yr)	Weekly Volume	Truck Util. (% of 12)	Long Haul Cost From Central	Weeks Until Next Truck From Central	Estimated ReSupply Lead Time
Jaén (Central)	\$1.396	177	0,00 %	\$0	0,07	0,35
Sevilla	\$1.318	141	100,00 %	\$155.587	0,09	0,46
Totals	\$2.714	318		\$155.587		

Warehouses	Cycle Stock A	Cycle Stock B	Cycle Stock C	Safety Stock A	Safety Stock B	Safety Stock C
Jaén (Central)	\$3.991	\$1.497	\$1.497	\$1.658	\$186	\$0
Sevilla	\$3.176	\$1.191	\$1.191	\$1.140	\$49	\$108
Totals	\$7.167	\$2.688	\$2.688	\$2.798	\$235	\$108

Total Stock (SqFt)	Capacity Utilization	Annual No. of Transactions	Transaction Cost
313	92,08 %	200	\$1.501
243	93,49 %	159	\$1.194
556		359	\$2.693

Tablas 8.5.4-3 Diseño de almacenes

A partir de estas decisiones obtenemos los siguientes resultados:

Sales Revenue			\$1.412.000	
CGS @ \$28,20/SqFt			\$465.864	
Gross Profit				\$946.136
Warehouse Capacity Cost			\$2.715	
Warehouse Transaction Cost			\$2.695	
Transportation Cost:				
Long Haul from Central		\$155.587		
Long Haul to BBP		\$230.121		
Short Haul to Customers		\$62.280		
Total Transportation Cost			\$447.988	
Inventory Investment:				
Pipeline Stock from Central	\$369			
Pipeline Stock to BPP	\$410			
Cycle Stock	\$12.542			
Safety Stock	\$3.141			
Total Inventory Investment		\$16.463		
Investment Finance Cost @ 5,0%			\$823	
Total Distribution System Cost			\$454.221	
Net Income Before Tax			\$491.915	

Annual Net Income	Avg. Cust. Wait (days)
\$491.915	3,56

Tabla 8.5.4-4 Resultados económicos y tiempo de espera medio.

WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Almería	0	\$0	0	\$0	283	\$0	\$0
2	Cádiz	0	\$0	0	\$0	360	\$0	\$0
3	Algeciras	0	\$0	0	\$0	341	\$0	\$0
4	Córdoba	0	\$0	0	\$0	105	\$0	\$0
5	Granada	0	\$0	0	\$0	91	\$0	\$0
6	Huelva	0	\$0	0	\$0	335	\$0	\$0
7	Jaén	340	\$1.396	200	\$1.501	0	\$0	\$0
8	Málaga	0	\$0	0	\$0	236	\$0	\$0
9	Sevilla	260	\$1.318	159	\$1.194	234	\$155.587	\$369
	Totals	600	\$2.715	359	\$2.695		\$155.587	\$369

Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BPP)
1	Almería	7,81 %	0,01	2,00	1,40	0,71	4,12
2	Cádiz	12,77 %	0,01	2,00	1,75	0,40	4,16
3	Algeciras	2,24 %	0,01	2,00	1,75	0,76	4,51
4	Córdoba	9,99 %	0,01	2,00	2,33	0,29	4,63
5	Granada	10,96 %	0,01	2,00	1,40	0,25	3,66
6	Huelva	6,17 %	0,01	2,00	3,50	0,27	5,77
7	Jaén	8,41 %	0,01	2,00	0,00	0,00	2,01
8	Málaga	18,52 %	0,01	2,00	1,40	0,66	4,06
9	Sevilla	23,12 %	0,01	2,00	0,00	0,00	2,01
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,01	2,00	1,23	0,32	3,56

Tabla 8.5.4-5 Desglose de costes y tiempos de espera.

9. HERRAMIENTAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.

Existen numerosas técnicas para ayudar en la tarea de diseñar la configuración de la red. En general, todas requieren de la construcción de un modelo que represente la red. El objetivo principal a lograr es la minimización del costo total de la red. Sin embargo, es importante considerar el factor tiempo y el nivel de servicio al consumidor como criterios alternos.

La incorporación del servicio al consumidor en la formulación de modelos matemáticos se realiza a través de restricciones en tiempo o distancia entre los centros de producción y el mercado a servir. La evaluación de opciones suele incluir análisis “what if”, de sensibilidad, y un proceso iterativo para llegar a la mejor solución incorporando todos los factores que determinan la solución.

En general, las herramientas existentes pueden ser clasificadas en:

➤ **Análisis Operativo/Financiero de Opciones.**

El análisis operativo/financiero se usa para cuándo las opciones alternas de red son pocas y se tienen definidas.

- Para usar esta técnica se requiere de modelos de las operaciones de la red (del flujo de material y su proceso), de la estructura de costos, y de evaluación económica.
- Normalmente se consideran varios escenarios operativos de la red que representan diversas estrategias predefinidas. Para cada uno de éstos se estiman costos operativos, inversiones requeridas, así como los beneficios a obtener en términos de ingresos y servicio al consumidor.
- La selección de la opción se realiza principalmente en base a indicadores como valor presente neto de flujos después de impuestos, TIR, período de pago, nivel de servicio al consumidor esperado.

➤ **Sistemas de Soporte de Decisiones**

Existen programas específicos para diseñar de forma íntegra sistemas de cadenas de distribución. Los denominados DSS se emplean para soportar la toma de decisiones en:

- Diseño estructural de la red. Número, dimensión y localización de almacenes.
- Despliegue de inventarios.
- Programación de la producción.
- Planeación de transporte.
- Otros.

➤ **Heurísticas y herramientas de optimización.**

Las **herramientas heurísticas** se basan en reglas establecidas en base a experiencia o intuición. Normalmente proporcionan una solución “buena” y factible, pero rara vez la óptima.

Las **herramientas de optimización** son normalmente de programación matemática que buscan minimizar el costo de la red. Con estas herramientas se pueden analizar sistemas logísticos complejos, aunque su utilidad depende del paquete seleccionado y el modelo desarrollado. Un aspecto a cuidar es la estructura de costos.

Entre las desventajas está la necesidad de recursos especializados para desarrollar modelos y mantenerlos.

Las herramientas pueden determinar las respuestas óptimas a:

- Cantidad y localización de almacenes.
- Mezcla de productos por planta.
- Niveles de inventarios óptimos.
- Medios de transporte a utilizar.

9.1. Localización de Almacenes y Asignación de Regiones de Venta a Almacenes (regionales o central).

La localización de instalaciones (industriales o de servicios) representa un elemento fundamental que se debe tomar en cuenta a la hora de planificar las futuras operaciones de cualquier empresa. Es importante destacar que la extensión del ciclo de vida de una organización depende ampliamente del sitio o región donde se quiera instalar, ya que si algunos factores decisivos de localización fallan en el momento de la concepción de la organización, esta tiende a acortar su ciclo de vida o se tiende a recurrir en el reacomodo de las instalaciones, decisión que podría resultar bastante onerosa.

El estudio de la localización es un elemento vital para el análisis de proyectos nuevos o de expansión desde el punto de vista financiero-económico.

El problema de localización está estrechamente relacionado con el problema de asignación. Por ejemplo, en nuestro proyecto, si se decide ubicar un nuevo almacén en Sevilla conjuntamente se estaría decidiendo que otras regiones de ventas estarían abastecidas por este nuevo centro de distribución intermedio. A su vez su dimensionamiento está determinado por la asignación de RV cercanas.

Dejaríamos para una segunda fase la selección de la mejor secuencia de visitas a efectos de volver a buscar ahorros en costes de transporte y mejoras en el nivel de servicio, medido este como tiempo medio de suministro al cliente o región de ventas.

Existen diferentes herramientas ya sean de tipo cualitativo como de tipo cuantitativo que permiten apoyar o reforzar las decisiones de ubicación de instalaciones.

9.1.1. El método de Evaluación de Criterios (Factor Rating o Ponderación de los Factores)

Se usa para evaluar y seleccionar entre varias opciones uno o varios lugares para localizar plantas o almacenes (facilidades según alguna literatura).

Bajo éste método se identifican varios factores o criterios relevantes para evaluar y seleccionar áreas o sitios donde se ubicaría un nuevo almacén. Por ejemplo:

- Infraestructura de transporte.
- Disponibilidad de fuerza de trabajo y su coste.
- Disponibilidad de terrenos y su coste.
- Grado de cercanía al mercado, materia prima y almacenes existentes.
- Disponibilidad de infraestructura de servicios.
- Legislación fiscal local.
- Existencia de industrias complementarias.
- Actitud de la comunidad

Posteriormente, se asignan valores para cada criterio y cada opción. Finalmente, cada alternativa se evalúa sumando los valores de cada criterio, seleccionándose aquella(s) con valores mayores.

La ventaja del método es que se puede evaluar un sitio con varios criterios a la vez. Sin embargo, la subjetividad involucrada origina que diferentes decisiones resultan al evaluar diferentes personas.

Ejemplo. Una empresa ha terminado de estudiar los factores que afectan la localización de una planta industrial a nivel macroeconómico. Pretende ubicarse en una ciudad de las tantas que se encuentran dentro de una región que posee atractivos para la localización de su planta. Tres ciudades se presentan como candidatas de elección sobre la base de recolección de datos expresados en costos de inversión, Costos fijos anuales y costos variables unitarios que se discriminan a continuación:

Costos	Ciudades		
	A	B	C
Costo del terreno	50,00	48,00	52,25
Costo de la construcción	75,25	80,48	81,75
Costo de las maquinarias	40,10	53,40	45,80
Costo de los insumos	4.000	5.000	3.500
Costo del agua	300.000	260.000	295.000
Costo de la energía	52,.00	51,.23	51,.12
Costo de la mano de obra	4.300	5.216	4.780
Impuestos estimados	3,.00	3,25	3,50
Envases / embalaje	250	260	240
Depreciación	4,01	5,34	4,58
Publicidad	951.000	825.000	812.000
Costos de transporte	300.000	310.000	300.000
Seguros	0.5	0.49	0.45

Tabla 9.1.1-1 Valoración de factores.

Se considera que los demás costos permanecen constantes en estas ciudades y por lo tanto no otorgan poder de decisión para la localización. Luego, se establecen los costos de inversión y de operación para las ciudades señaladas, tomando en cuenta una producción de 2.000 unidades al año.

Solución: Para calcular los costos fijos y variables independientemente de los costos de inversión se usará la siguiente fórmula:

$$C.T. = C.F.T. + C.V.U. \times Q.$$

Donde:

C.T.: Costos Totales
 C.F.T.: Costos fijos totales
 C.V.U.: Costos variables unitarios.
 Q.: Cantidad a producir.

La suma de los costos Fijos para cada ciudad:

Ciudad A: 60.561.000 Ciudad B: 61.215.000 Ciudad C: 60.607.000 u.m.

La suma de los costos variables unitarios para cada ciudad:

Ciudad A: 8.550,50 Ciudad B: 10.476,49 Ciudad C: 8.520,45 u.m./ud

La suma de los costos de inversión para cada ciudad:

Ciudad A: 165.350.000 Ciudad B: 181.880.000 Ciudad C: 179.800.000 u.m.

C.T. (Ciudad A)= 60.561.000 u.m.+ 8.550,50 u.m./unidad x 2.000 unidades = 77.662.000 u.m.

C.T. (Ciudad B)= 61.215.000 u.m.+ 10.476,49 u.m./unidad x 2.000 unidades = 82.167.980 u.m.

C.T. (Ciudad C)= 60.607.000 u.m.+ 8.520.45 u.m./unidad x 2.000 unidades = 77.647.900 u.m.

	Ciudad A	Ciudad B	Ciudad C
Costos de inversión	165.350.000	181.880.000	179.800.000
Costos de operación	77.662.000	82.167.980	77.647.900
Costos globales	243.012.000	264.047.980	257.447.900

Tabla 9.1.1-2 Valoración de factores.

Conclusión. A primera vista la empresa transnacional decidirá ubicarse en la ciudad A, pero hay que tener cuidado ya que los costos de operación son menores en la ciudad C y esto podría influir en la decisión definitiva porque cada año se incurrirían en menores costos y por lo tanto la inversión se recuperaría más rápido dependiendo de la vida útil de la planta.

Los métodos estudiados solo toman en cuenta factores cuantitativos. Pero también es importante tener en cuenta aspectos poco tangibles, como los psicológicos, culturales y demás aspectos subjetivos que pueden llegar a representar un verdadero dilema en la decisión definitiva de ubicación.

Factores que afectan a distintos niveles de la localización.

Una buena localización de instalaciones requiere de un estudio detallado de los factores que la puedan afectar tanto del punto de vista de la superlocalización, como de la macrolocalización o desde el punto de vista de la microlocalización. Se dice que se necesita de un estudio detallado desde el punto de vista de la súper localización, cuando se presentan casos de organizaciones transnacionales que deben escoger a nivel mundial una nación o país que posea ciertos patrones atractivos que definan la elección definitiva de una planta productora o una sucursal para la expansión de sus operaciones.

Se suele llamar estudios de macrolocalización, cuando una empresa de carácter nacional analiza varias regiones dentro de una nación o país determinado para fijar sus operaciones de producción o de servicios.

Cuando una empresa ha escogido una región que le resulta conveniente para sus operaciones, entonces procederá a llevar a cabo un estudio detallado de las posibles ciudades, poblaciones o emplazamientos de su interés que se encuentren dentro de la región que se está analizando. A este estudio suele designársele con el nombre de microlocalización. Es importante destacar que estas diferentes clasificaciones que se introducen en el estudio de la ubicación de instalaciones obedece al grado de desarrollo de los países y de las organizaciones, ya que mientras más grandes sean estas últimas, más cuidadosos y más costosos serán los estudios necesarios que se deberán tomar en cuenta a la hora de ampliar sus operaciones. A continuación se procederá a discriminar los factores más comunes que se pueden presentar a la hora de llevar a cabo un estudio de la ubicación de instalaciones.

Factores que afectan la superlocalización

- Aspectos Culturales de un País.
- Restricciones Jurídicas y Gubernamentales.
- Crecimiento y expansión a nivel mundial del movimiento ecologista
- Condiciones Climáticas y Ambientales de un País.

Factores que afectan la macrolocalización.

- Ubicación en Parques Industriales.
- Centros de Generación de Fuentes de Energía
- Mercado Consumidor y Fuentes de Abastecimiento de Insumos:

Depende de las características del producto final. Si es un bien perenne o por el contrario es un artículo que tiende a dañarse con el transcurrir del tiempo, las empresas se instalarán lo más cercano posible de aquel factor que le reduzca los costos por posibles pérdidas en su utilización. También los costos de transporte tanto de la materia prima como del producto terminado hacen pensar muy seriamente el análisis de ubicación de instalaciones a fin de optimizar las operaciones de las empresas.

- Disponibilidad y Costo de los Terrenos

Factores que afectan la microlocalización.

- Disponibilidad de Servicios Públicos.
- Disponibilidad de la Mano de Obra.

Una vez seleccionada la región en donde se desea ubicar la instalación de producción, se procederá a un estudio concreto relacionado con el tipo de mano de obra necesaria para poderlo poner en marcha.

En algunos procesos será necesaria la utilización de mano de obra especializada; en otros, la incidencia de grandes conglomerados de personas poco entrenadas en un oficio determinado, representará un factor de vital importancia.

Existe una relación costo-especialización que hay que tomar muy en cuenta, y esta misma relación se puede convertir en un factor determinante para la ubicación definitiva del proceso de transformación. Si la mano de obra necesaria escaseara o simplemente llegara a representar un costo significativo de operación, entonces se tiene que repensar en otra ubicación estratégica que satisfaga plenamente las características propias del proceso en cuestión.

- Vías de acceso y transporte urbano y/o rural aceptables.

Los factores descritos y clasificados anteriormente, representan una aproximación de los elementos más importantes que se deben tener en cuenta para una idónea localización de instalaciones.

Lo que se ha querido señalar con esta clasificación, es la jerarquización de los factores como elementos decisivos en una decisión final de ubicación de procesos de transformación y/o almacenaje.

Veremos a continuación el funcionamiento de algunas de las variantes de algoritmos para problemas de localización y asignación:

9.1.2. Localización de Instalaciones con Costos Fijos y Capacidad Ilimitada

Estos modelos pueden aplicarse tanto en el campo privado (localización de almacenes para clientes) como en el público (centros de policía, recursos sanitarios, etc).

Considérese un conjunto de orígenes de una determinada zona, cada una de ellos con una población de demandantes de un determinado servicio y un conjunto de destinos donde colocar dichos servicios.

En nuestro caso, se trata de colocar p almacenes regionales entre los destinos y asignar cada origen a uno. (No se consideran restricciones de capacidad, por tanto se asigna cada origen a su AR más cercano).

Los objetivos difieren en cada modelo: en el **problema de los p-centros** hay que minimizar la máxima distancia entre un cliente y el almacén regional que lo abastece; en el **problema del tiempo crítico** hay que maximizar el conjunto de clientes que pueden llegar al almacén que le corresponde en menos de un tiempo máximo preestablecido (*tiempo crítico*).

Determinar cuantas y cuales instalaciones implantar, asignando la demanda y minimizando costos totales es una variación del problema de los p-centros (pero se minimizan directamente costos CF+CV, en lugar de distancias).

9.1.3. Localización de Instalaciones con Costos Fijos y Capacidad Limitada

Determinar cuantas y cuales instalaciones implantar, asignando la demanda hasta capacidad, y minimizando costos totales. Por tanto, este modelo es igual que el anterior, pero añadiendo una variable K_j , que limitaría, mediante una restricción, la capacidad de cada centro.

$$\text{Minimizar} \quad \sum_j f_j X_j + \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad \leftarrow (\text{Costo Fijo} + \text{Costo variable})$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} \sum_j Y_{ij} &= 1 && \text{Cada punto de demanda se satisface.} \\ Y_{ij} &< X_j, && \text{Demanda de punto } i \text{ se asigna si se ubica instalación en } j. \\ X_j &= 0,1 \\ Y_{ij} &> 0 \\ \sum_i h_i Y_{ij} &< k_j X_j && \text{Capacidad de punto } j \text{ no se excede } \leftarrow \text{restricción por capacidad.} \end{aligned}$$

Parámetros y Variables:

- f_j = Costo fijo de ubicar instalación en punto j .
- h_i = Demanda en punto i .
- d_{ij} = Distancia del punto i al j .
- a = costo por unidad de distancia por unidad de demanda.
- k_j = Capacidad de instalación en punto j .

Variables:

- $X_j = 1$, si instalación se ubica en punto j ; 0 , en caso contrario.
- Y_{ij} = Fracción de la demanda del punto i que se satisface con instalación ubicada en j .

9.1.4. Problema de localización de plantas múltiples.

Es un problema de tipo “Transbordo-Transporte”: Dado un grafo con nodos conectados entre sí y clasificados en dos conjuntos Y y Z . Los nodos Y se considerarán como elementos de suministro (por ejemplo plantas productivas o proveedores), mientras que los nodos Z se entenderán como elementos de demanda (clientes cuya demanda hay que satisfacer). El objetivo será encontrar el flujo (transporte de mercancías a través de la red) con origen en los nodos Y y destino en los Z , que satisfaga una serie de restricciones que dependerán del problema particular a resolver.

En la literatura, existen multitud de heurísticas y algoritmos optimizadores para resolver algunos de estos casos particulares (por ejemplo una versión especial del **Algoritmo Simplex** para Programación Lineal llamado Network Simplex Algorithm). Asimismo, también existen generalizaciones del problema (multiterminal), o incluso variantes con pérdida de flujo en los arcos (por ejemplo la evaporación de agua en canales de riego).

En cualquier caso, este tipo de problemas es uno de los más interesantes de la teoría de grafos y de la investigación operativa. Su aplicación es visible y de gran importancia para la resolución de problemas reales en la Dirección de Operaciones y Logística.

Objetivo.- Definir qué plantas y almacenes deben instalarse para satisfacer la demanda de los consumidores, minimizando los costos de inversión y transporte.

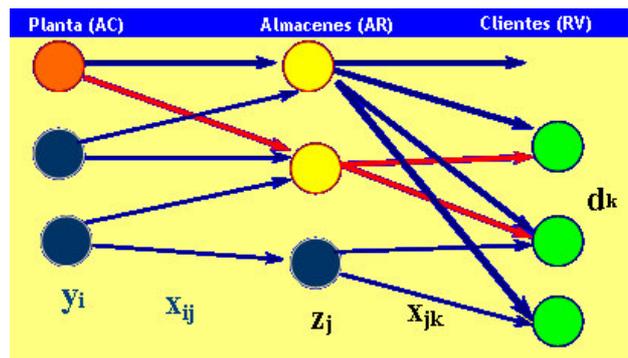


Ilustración 9.1.4-1: Esquema grafo Multilayer

El planteamiento básico es el siguiente:

Parámetros:

- i : Puntos donde se pueden localizar plantas.
- I : Set de plantas.
- j : Puntos donde se pueden ubicar almacenes.
- J : Set de almacenes a localizar.
- k : Consumidores con demanda.
- K : Set de consumidores.
- c_{ij} : Costo unitario de transporte entre planta i y almacén j .

c_{jk} : Costo unitario de abastecer al consumidor k del almacén j .
 f_i : Costo fijo o inversión al instalar planta i .
 g_j : Costo fijo o inversión de instalar almacén j .
 a_i : Capacidad de producción de planta i .
 b_j : Capacidad de almacén j .
 d_k : Demanda del consumidor k .

A partir de estos parámetros conocidos o previos, vamos a identificar aquellas variables de decisión o incógnitas que debemos calcular para definir la solución óptima al problema que hemos de solucionar.

Variables de Decisión:

x_{ij} : Cantidad de producto transportado de planta i al almacén intermedio j .
 x_{jk} : Cantidad de producto transportado de almacén intermedio j al consumidor o cliente final k .
 y_i : Variable binaria que indica si se abre una planta.
 z_j : Variable binaria que indica si un almacén intermedio se abre.

Formulación matemática

$$\text{Min } Z = \sum \sum c_{ij} x_{ij} + \sum \sum c_{jk} x_{jk} + \sum f_i y_i + \sum g_j z_j$$

$$\begin{aligned} \sum x_{jk} &= d_k, \quad k \in K \\ \sum x_{ij} &< a_i y_i, \quad i \in I \\ \sum x_{jk} &< b_j z_j, \quad j \in J \\ \sum x_{ij} &= \sum x_{jk}, \quad j \in J \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_i &\in \{0,1\}, \quad i \in I \\ x_{jk} &> 0, \quad j \in J, k \in K \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_j &\in \{0,1\}, \quad j \in J \\ x_{ij} &> 0, \quad i \in I, j \in J \end{aligned}$$

Podemos ver la similitud de este planteamiento con el problema que tratamos de resolver en el caso que nos ocupa. De hecho, este planteamiento ha sido el que ha servido como base, si bien se complicará cuando incluímos en él las limitaciones de capacidad por camión, la función de costes derivada del flujo que pasa por almacén, del número de fletes o envíos a realizar, etc...

9.1.5. Problema del Traspordo (coste mínimo)

Se puede considerar un grafo como una red de flujo. Donde los nodos proveedores producen o introducen en la red cierta cantidad de algún tipo de material, y los nodos cliente lo consumen. Cada arco, por tanto, puede considerarse como un conducto que tiene cierta capacidad de flujo (mínima y/o máxima) y un coste de transporte por unidad de material.

Dado un conjunto de nodos X proveedores (con una capacidad $b < 0$ de suministro), y también un conjunto Y de nodos clientes (con una demanda $b > 0$). En este caso particular, además se consideran nodos de traspordo (con valor de $b=0$), esto es nodos, que ni aportan ni consumen mercancías y donde éstas simplemente cambian de arco o hacen un traspordo.

Además, se exige la condición de continuidad en los nodos. Esto es, la suma de flujos entrantes a un nodo menos la suma de los salientes, debe ser mayor o igual a la capacidad b del nodo.

Por tanto, el problema de flujo máximo se enuncia como: ¿cuál es el flujo de transporte de cada arco con el cual se puede transportar el material desde los nodos proveedores a los nodos cliente, sin violar las restricciones de capacidad y continuidad y todo ello minimizando el coste total de transporte?.

Este problema se puede abordar a través del modelado y resolución mediante **Programación Lineal**, y puede resolver problemas de transporte de mercancías como el que nos ocupa de logística de aprovisionamiento y distribución, pero también para flujo de gases y líquidos por tuberías, componentes o

piezas en líneas de montaje, corriente en redes eléctricas, paquetes de información en redes de comunicaciones, tráfico ferroviario, sistema de regadíos, etc.

El problema de trasbordo, se puede transformar en un problema clásico de flujo mínimo coste añadiendo un único nodo proveedor s y un único nodo de demanda t (ver Hitchcock-Koopmans, método Out-of-Kilter). Para que dicho problema sea factible, la suma del suministro total debe ser mayor o igual que el total de demanda (**equilibrado**).

9.1.6. Método de Transporte (coste mínimo)

Es una técnica matemática derivada de la Investigación de Operaciones cuyo objetivo fundamental es el de optimizar las actividades de localización y distribución.

En nuestro proyecto este método es importante ya que puede solucionar casos en los cuales los costos de transporte y distribución son un problema para la localización de instalaciones de producción.

El método puede encontrar una solución óptima a dos casos especiales:

- a) Cuando una empresa posee dos o más alternativas de ubicación de una nueva planta, sucursal o almacén. La empresa tiene que tomar la decisión de seleccionar una ubicación entre las diferentes alternativas que se le presentan.
- b) Cuando una empresa ya posee las instalaciones en distintos lugares estratégicos y tiene que abastecer a distintos centros de consumo. El dilema se presenta cuando no se sabe con certeza qué centro o centros de producción deben abastecer a qué centros de consumo. Esta técnica matemática da una solución óptima a estos dos tipos de casos.

El método de transporte posee varios algoritmos de solución que concluyen con un mismo resultado. La regla de la **esquina noroeste**, el método de **Vogel**, el propio método **Húngaro**, y el método de aproximación entre otros, son algunos de los algoritmos más utilizados. Claro, es importante destacar que para fines de este proyecto trabajaremos bajo el supuesto de que los requerimientos son iguales a los ofrecimientos. Cuando esta condición cambia, puede ser que un algoritmo sea más conveniente que otro para la optimización del problema.

El departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, con fines didácticos, recomienda la utilización de paquetes tecnológicos como el Quantitative System for Business Plus bajo ambientación Windows (WinQSB) de la editorial Prentice Hall Inc.

El problema del transporte es un problema de trasbordo pero con un grafo dividido $G=(S,T,E)$, con todos los nodos suministradores en S y los de demanda en T . Además, todos los arcos van dirigidos de S a T y no existen nodos de trasbordo.

El Problema de Asignación es un caso especial del problema de transporte, en el cual hay el mismo número de nodos suministradores que de demanda y los valores de nodos $b_i = \pm 1$.

9.1.7. Problema de asignación (mínimo coste total)

El problema de asignación debe su nombre a la aplicación de asignar hombres a trabajos. Esta asignación se hará con la condición de que cada hombre puede ser asignado sólo a un trabajo y que cada trabajo sólo tendrá asignada una persona. Los problemas de asignación presentan una estructura y un proceso de resolución muy similar a los de transporte, pero con dos diferencias:

- 1) asocian igual número de nodos origen con igual número de nodos de demanda;
- 2) el valor de oferta en cada nodo origen es de valor uno, como lo es la demanda en cada nodo destino.

La condición necesaria y suficiente para que este tipo de problemas tenga solución, es que se encuentre equilibrado o balanceado, es decir, que los recursos totales sean iguales a las demandas totales. Si hay más máquinas que trabajos se formula con desigualdades, y se resuelve con trabajos ficticios.

Su aplicación es visible y de gran importancia para la resolución de problemas reales en la Dirección de Operaciones y Logística. Por ejemplo: vehículos a rutas, trabajadores, oficinas al personal, máquinas y tareas, productos a fabricar, agentes comerciales a regiones, etc.

Este problema es de especial interés ya que una de las preocupaciones de los gerentes de las empresas es la utilización más eficiente de sus recursos escasos. En este caso el problema tratará de asignar un conjunto de recursos limitados a un conjunto de actividades competitivas de la mejor manera posible (óptima).

El modelo de asignación es un caso especial del modelo de transporte, en el que los recursos se asignan a las actividades en términos de uno a uno, haciendo notar que la matriz correspondiente debe ser cuadrada. Así entonces cada recurso debe asignarse, de modo único a una actividad particular o asignación. Pese a su importancia, no es el caso que nos ocupa.

El problema es lineal porque la función coste a optimizar así como las restricciones pueden ser expresadas como ecuaciones lineales. El **Algoritmo Húngaro** de Kuhn (1955) es uno de los más utilizados para resolver este tipo de problemas.

Además de la PLEM en la literatura existen multitud de estrategias de resolución para este problema: técnicas de aproximación, heurísticas, relajaciones, post-optimizaciones, óptimos locales, enumeración completa, meta-heurísticas y técnicas evolutivas, y otras.

9.2. Problema de Rutas de vehículos.

En el apartado anterior se han visto técnicas para determinar el número de almacenes regionales y su ubicación. Partiendo de esta primera fase, vamos a buscar la mejor ruta posible para minimizar los costes de distribución entre el AR y las RV asignadas a éste.

Dentro de la denominación de **Problemas de Rutas o Recorridos** realmente se engloba todo un amplio conjunto de variantes y personalizaciones de problemas. Desde los más básicos hasta aquellos tan complejos que incluso hoy en día son materia de investigación. Todos ellos sin embargo, además del reto computacional que representan, tienen en común su gran importancia en investigación operativa por su aplicación práctica en la realidad. Los problemas de ruteo y programación tienen un impacto relevante en el costo de transporte y el nivel de servicio al cliente.

Los Problemas de Rutas de Vehículos (*Vehicle Routing Problem - VRP*) tratan de determinar el conjunto de rutas de una flota de vehículos idénticos para hacer entregas desde un almacén central a un conjunto de clientes. El problema básico consiste en determinar K rutas de cada vehículo, donde cada ruta inicia y termina en el almacén central después de realizar una secuencia de visitas a un grupo de clientes. Cada cliente se asigna a un vehículo solamente y la capacidad del vehículo no debe excederse. Todo esto al mínimo costo.

La determinación puede resultar en rutas fijas a realizar o en rutas variables en cada período que dependerán de la demanda de los clientes.

Se identifican **3 tipos básicos de problemas de ruteo**:

- 1) Encontrar una ruta en una red donde el origen es diferente al punto destino: Se hace mediante el uso de métodos para encontrar los caminos más cortos entre puntos.
- 2) Definir rutas de transporte entre múltiples orígenes y destinos: es resuelto mediante la aplicación del método de transporte y variaciones de éste, y
- 3) El cuando el origen y el punto destino son los mismos: Conocidos los almacenes regionales, la segunda fase de nuestro problema se enmarca en este grupo.

Para su resolución se utilizan numerosos y diversos modelos entre los que destacan:

- a. El agente viajero (TSP o PAV): Consiste en encontrar la secuencia de puntos que el agente debe visitar iniciando y regresando al mismo punto, minimizando la distancia o tiempo total.
- b. Ruteo de vehículos (VRP): Un número de vehículos con capacidad limitada debe servir un conjunto determinado de consumidores con cierta demanda y satisfaciendo limitaciones. El objetivo es asignar vehículos a consumidores y definir la secuencia minimizando costos, distancias o tiempos.
- c. Ruteo de vehículos (VRP): Con ventanas de tiempo (VRPTW),
- d. El problema de recoger y entregar (PDP): Incluye la posibilidad de recoger artículos.
- e. El problema de ruteo e inventario (IRP): Un almacén central con capacidad ilimitada sirve un conjunto de detallistas con cierta demanda fija. El objetivo es asignar vehículos y determinar sus cargas para reponer inventarios de los detallistas al mínimo costo de transporte e inventarios.
- f. Problema de Rutas para Vehículos de capacidad limitada (CVRP)

El TSP ha sido empleado en la mejora de rutas del modelo WLD original (Parte I del presente proyecto). Una vez determinada la situación de los almacenes regionales, éstos eran el (mismo) origen y destino de cada ruta mínima a calcular.

Aspectos Adicionales del Problema

- Los costos de transporte pueden ser asimétricos.
- Características de los vehículos (capacidad y velocidad) iguales.
- Vehículos diferentes.
 - Limitaciones simultáneas (volumen y peso).
 - Capacidad compartida de varios tipos de artículos.
 - Compatibilidad entre vehículo y cliente.
 - Varios viajes en el horizonte de planeación.
- Limitación en el tiempo total del viaje.
- Limitaciones de precedencia entre clientes.
- La existencia de almacenes múltiples con sets de vehículos asignados a ellos.
- En lugar de cantidad fija de vehículos tenemos que decidir cuántos vehículos.
- Entrega a ciertos clientes es opcional incurriéndose en castigo.
- Determinar cantidad de artículos y rutas para abastecer clientes, etc.

Evolución de las Metodologías de Solución

Este tipo de problemas es de los más importantes, y de los más estudiados dentro de los problemas de optimización combinatoria. **Dantzig y Ramser** fueron los primeros en introducir este tipo de problemas en 1959, cuando describieron una aplicación real concerniente a la distribución de gasolina para estaciones de servicio. Además se propuso una formulación matemática del problema, y una aproximación algorítmica.

Unos años después, **Clarke y Wright** aportaron una propuesta de algoritmo voraz (*greedy algorithm*) que mejoraba la aproximación algorítmica de Dantzig y Ramser. A partir de estos dos trabajos iniciales, ha surgido toda una fértil línea de investigación y desarrollo que ha crecido mucho en los últimos años. En la actualidad hay incluso soluciones informáticas en el mercado para este tipo de problemas. Este gran interés en este tipo de problemas se deriva por un lado en el sentido práctico de su aplicación en problemas reales, y por otro lado en la gran complejidad de este tipo de problemas. El número de posibles soluciones crece exponencialmente con el número de nodos del grafo (clientes o puntos de paso), y rápidamente sobrepasa las capacidades de cálculo de los ordenadores más potentes. Los problemas de unos 50 clientes pueden ser resueltos mediante métodos y formulaciones exactas, sin embargo, los problemas de mayor complejidad sólo pueden ser resueltos de manera óptima en algunos casos particulares, dada su gran complejidad numérica.

Se identifican **3 generaciones de algoritmos** para resolver el problema de ruteo de vehículos.

a) Algoritmos de Primera Generación

Consisten en métodos heurísticos. El algoritmo representativo es el de Clarke and Wright, que es el que ha perdurado por su flexibilidad para considerar restricciones de diversa naturaleza. Los algoritmos de primera generación pueden ser de los siguientes tipos.

- Algoritmos de Construcción de Rutas.- En éstos, se incluyen secuencialmente enlaces entre 2 clientes hasta que todos han sido asignados a una ruta. Cada vez que se agrega un cliente, se determina si la capacidad del vehículo y se satisfacen otras posible restricciones adicionales. La selección de cada enlace se basa en los ahorros en costo.
- Algoritmos de Mejora de Rutas.- Éstos inician con una ruta factible y en cada iteración se busca combinaciones de intercambio de enlaces factibles y que ahorren costos.
- Algoritmos de 2 Fases.- Los algoritmos de este tipo inician asignando clientes a cada vehículo sin violar su capacidad. Posteriormente se define la secuencia en que cada cliente debe ser visitado.

b) Algoritmos de Segunda Generación

Se caracterizan por la aplicación de programación matemática para desarrollar métodos de solución, mediante la utilización de modelos que aproximaban el problema de ruteo. Los algoritmos de ésta generación son heurísticos basados en programación matemática. Los más representativos se basan en la solución de los problemas de asignación generalizada y el de “set partitioning”.

El algoritmo de Fisher & Jaikumar(1981) consiste en 2 fases; La primera resuelve el problema de asignación generalizada para asignar clientes a los vehículos y en la segunda fase resuelve problemas del agente viajero para definir la secuencia de visitas en cada ruta para cada vehículo.

c) Algoritmos de Tercera Generación

La investigación sobre el problema de ruteo se centra en el desarrollo de algoritmos “robustos” que puedan aplicarse a una amplia gama de situaciones problemáticas. Un enfoque para lograr lo anterior es la utilización de métodos interactivos a través de interfases con el tomador de decisiones. Otro es la utilización de la inteligencia artificial.

Los algoritmos son incorporados a sistemas computacionales con alto grado de interacción del tomador de decisiones. Algunos incorporan el uso de mapas digitales “inteligentes”. Entre los sistemas mas comercializados están CAPS RoutePro y Road Show.

A continuación se incluirán los modelos de varios de estos tipos de problemas:

- Problema de Rutas para Vehículos, en su variante de capacidad limitada (CVRP)
- El Problema del Agente Viajero (PAV) o (Traveling Salesman Problem - TSP), con distintas variantes.
- Métodos heurísticos usados para resolver el problema del agente viajero
- Problema de los m-Viajantes de Comercio (m-TSP)
- Problema de los m-Viajantes de Comercio (mínima distancia recorrida)
- Problema de las m-rutas

9.2.1. Problema de Rutas para Vehículos de capacidad limitada (CVRP)

El **Problema CVRP básico** trata de determinar los recorridos de k vehículos de capacidad C_k que partiendo de un origen común deben pasar por un conjunto de lugares de interés (clientes) para recoger o distribuir mercancías según una demanda d_i , y volver de nuevo al origen de manera que la distancia total recorrida (el coste o el tiempo empleado) por el conjunto de vehículos sea mínima. En el tipo de problema más sencillo no se tiene en cuenta el horario de entrega o recogida en cada lugar de interés (ventanas horarias).

A partir de este problema básico aparecen todo un conjunto de extensiones o particularizaciones. Por ejemplo, la función objetivo podría ser:

- minimizar el número total de vehículos (o conductores) para dar servicio a todos los clientes.
- minimizar los costes fijos asociados con el uso de los vehículos (o los conductores)
- minimizar el coste total de transporte (coste fijo más variable de la ruta)
- equilibrar las rutas, por tiempo de viaje o carga de vehículo
- minimizar las penalizaciones asociadas para un servicio parcial a los clientes

9.2.2. El Problema del Agente Viajero (PAV) o (Traveling Salesman Problem - TSP)

El número de posibles soluciones crece exponencialmente con el número de nodos del grafo (ciudades), y rápidamente sobrepasa las capacidades de cálculo de los ordenadores más potentes. Es por ello, por lo que todavía se sigue investigando en nuevas técnicas de resolución que reduzcan el esfuerzo computacional y mejoren la eficiencia de las soluciones y su aproximación a la solución óptima. Además del reto computacional que representa este tipo de problemas, también es de los más interesantes de la teoría de grafos y de la investigación operativa por su aplicación práctica en la realidad.

Su aplicación es visible y de gran importancia para la resolución de problemas reales en la Dirección de Operaciones y Logística. Por ejemplo: problemas de picking, de rutas, sistemas de navegación GPS, planificación de movimientos de robots, vehículos autoguiados (AGV), etc.

Este problema es fácil de enunciar, aunque un poco más complicado de modelar y resolver. Se trata de un vendedor o Agente Viajero que debe visitar n ciudades para vender u ofertar sus productos. Cada par de ciudades puede estar comunicada o no, su distancia se define mediante c_{ij} . El problema es por tanto, decidir el recorrido que comenzando por una determinada ciudad pase por todas las demás una sola vez y vuelva finalmente a la primera, de manera que se minimice la distancia total recorrida.

9.2.3. Métodos Heurísticos Usados Para Resolver El Problema Del Agente Viajero

9.2.3.1. El Método de Barrido (Sweep)

Contempla 2 fases: La asignación de clientes a vehículos y luego la definición de la secuencia para visitar cada cliente de cada ruta.

• Fase de Asignación de Clientes a Vehículos:

- Ubicar los clientes y fuente (planta, almacén) en mapa.
- Ubicar una línea recta de la fuente hacia cualquier dirección. Rotar la línea en una dirección intersectando clientes.
- Cada vez que un cliente se intersecta, se cuestiona la factibilidad de asignarlo a un vehículo (chequear restricciones de capacidad, tiempo de entrega, etc.).
- Si es factible se incluye en ruta. Se continúa hasta terminar con los clientes o los vehículos.

• Fase de Secuenciación de Rutas:

- Determinar la secuencia de visita de cada cliente para cada ruta aplicando el concepto de lágrima o un método de solución del problema del Agente Viajero.

9.2.3.2. Método de Clarke-Wright (Savings)

El objetivo es minimizar la distancia o tiempo total para satisfacer la demanda. Indirectamente se puede determinar la cantidad mínima de vehículos a considerar. Genera soluciones con valor de la función objetivo a 2% del óptimo. El procedimiento es el siguiente:

- Se inicia considerando que cada cliente es visitado por un vehículo que regresa al origen. Esta solución corresponde a la máxima distancia total.
- Luego, se considera que 2 clientes pueden ser visitados por un vehículo, antes de regresar al origen.
- El cálculo del “ahorro” se hace para todos los pares de clientes, seleccionándose el de mayor ahorro y que sea factible. Esto es, tiene que satisfacer todas las restricciones del caso, tales como ventanas de tiempo o time windows, capacidad del vehículo, etc.
- El set de rutas se revisa y el proceso de cálculo de ahorros se continúa hasta no tenerlos.

Los ahorros también pueden ser estimados considerando la incorporación de clientes en rutas con varios clientes.

9.2.3.3. Heurístico de Karg & Thompson

Consiste en seleccionar una ruta inicial para dos clientes cualquiera (i_1 y i_2) a este par se irán añadiendo sucesivos clientes seleccionando la nueva mínima distancia total. El procedimiento es:

- Supongamos la existencia de k clientes, que forman una ruta definida, con $2 < k < n$, y donde n representa el total de clientes.
- Seleccionamos 2 clientes cualesquiera ($K=2$).
- Escogemos aleatoriamente un tercer cliente, h , excluido de la lista y calculamos la distancia desde cada punto d_j ; $j=1, k$ tal que $d_j = a_{i_j, h} + a_{h, i_{j+1}} - a_{i_j, i_{j+1}}$

donde se define i_{k+1} para ser i_1 cuando $j = k$.

Las variables “a” representan la distancia, tiempo o costo entre los pares de clientes.

- Definimos j^* tal que sea el valor de j asociado al d_j mínimo.
- Redefinimos i_j como i_{j-1} para $j = j^*+1, \dots, k$, y el subíndice h como i_{j^*} . Esto es, incorporamos el cliente h en la ruta en la posición de i_{j^*} , teniéndose ahora $(k+1)$ clientes en la misma.
- Si $(k+1)=n$, el algoritmo se termina. En caso contrario, establecemos k como $k+1$ y continuamos.

10. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN

10.1. Optimización mediante SOLVER.

10.1.1. Resolución del modelo mediante SOLVER

Partimos de la matriz de costes unitarios de transportar una unidad de producto entre cualquier origen y cualquier destino. Bajo ésta pondremos la distancia desde central a cualquier destino, que se utilizará para calcular costes de rutas indirectas (AC → AR → RV).

Nótese que no cuesta lo mismo llevar una unidad hasta Jaén, que desde Jaén. Los cálculos unitarios ya llevan implícito el volumen total que se transportará entre ambos puntos, ya que el número de camiones, y número de envíos afecta a este precio.

Costes unitarios											
Trayecto AR - RV											
	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén=AC	Malaga	Sevilla	Cjk	
Almería 1		0,8116856	0,4540160	0,4804123	0,2190891	0,8024469	0,3735074	0,2771609	0,6638664		
Cádiz 2	0,6594753		0,1361843	0,2873811	0,3720942	0,2659347	0,3860343	0,2873811	0,1554860		
Algeciras 3	0,5266274	0,1944235		0,4500827	0,4010941	0,4194649	0,5220347	0,2112633	0,2862771		
Córdoba 4	0,3750289	0,2761202	0,3029079		0,2060598	0,2431506	0,1081814	0,1772115	0,1370298		
Granada 5	0,1558275	0,3257357	0,2459446	0,1877439		0,3501425	0,0854235	0,1539500	0,2525156		
Huelva 6	0,6770820	0,2761782	0,3051324	0,2628147	0,4153809		0,3730633	0,3541317	0,1069077		
Jaén=AC 7	0,3463724	0,4406151	0,4173604	0,1285127	0,1113777	0,4100168		0,2888477	0,2863998		
Malaga 8	0,1946112	0,2483610	0,1278874	0,1593958	0,1519821	0,2946970	0,2187059		0,1992448		
Sevilla 9	0,5228982	0,1507361	0,1943975	0,1382614	0,2796414	0,0997977	0,2432568	0,2235052			
Trayecto AC-AR		0,3735074	0,3860343	0,5220347	0,1081814	0,0854235	0,3730633		0,2187059	0,2432568	Cij

Tabla 10.1.1-1 Matriz de costes unitarios de transporte. Cij=AC→AR y Cjk =AR→RV. (Orígenes en eje x).

Dentro de las posibles combinaciones hemos de anular en primer lugar aquellas rutas que no pueden formar parte de la solución. Para discriminar o prohibir estas rutas se asigna una variable muy alta “M”, de forma que el coste unitario por este coeficiente arrojará un coste muy elevado, que nunca formará parte de la solución en las rutas imposibles.

Rutas posibles	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén=AC	Malaga	Sevilla
Almería 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cádiz 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Algeciras 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Córdoba 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Granada 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Huelva 6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Jaén=AC 7	M	M	M	M	M	M	1	M	M
Malaga 8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sevilla 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 10.1.1-2 Matriz de rutas posibles. Asignada "M" a rutas no viables. (AC-->RV7 = Demanda propia de AC)

Rutas completas AC-AR + AR-RV									
	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén=AC	Málaga	Sevilla
Almería 1		1,1977199	0,9760508	0,5885937	0,3045126	1,1755102	0,3735074	0,4958669	0,9071233
Cádiz 2	1,0329826		0,6582191	0,3955625	0,4575177	0,6389980	0,3860343	0,5060870	0,3987429
Algeciras 3	0,9001348	0,5804578		0,5582641	0,4865176	0,7925281	0,5220347	0,4299692	0,5295339
Córdoba 4	0,7485363	0,6621545	0,8249427		0,2914833	0,6162139	0,1081814	0,3959174	0,3802866
Granada 5	0,5293348	0,7117700	0,7679793	0,2959254		0,7232057	0,0854235	0,3726560	0,4957724
Huelva 6	1,0505894	0,6622125	0,8271671	0,3709961	0,5008044		0,3730633	0,5728376	0,3501645
Jaén=AC 7									
Málaga 8	0,5681186	0,6343953	0,6499221	0,2675773	0,2374056	0,6677602	0,2187059		0,4425016
Sevilla 9	0,8964056	0,5367704	0,7164323	0,2464428	0,3650649	0,4728609	0,2432568	0,4422111	

Tabla 10.1.1-3: Matriz de costes unitarios (Cij + Cjk). Costes unitarios de transporte.

A continuación se dispone todo el material en el centro de producción o Almacén Central de Jaén.

Establecemos las restricciones que debe cumplir inicialmente el modelo. A saber.

- La demanda total debe estar cubierta por la oferta.
- Igualmente cada una de las demandas de las distintas RV debe estar cubierta.
- Toda la oferta saldrá del almacén central AC.

Cantidades a transportar										
	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén=AC	Málaga	Sevilla	
Almería 1							128.836,33			128.836,33 = 128.836,33
Cádiz 2							211.429,91			211.429,91 = 211.429,91
Algeciras 3							37.024,13			37.024,13 = 37.024,13
Córdoba 4							165.039,45			165.039,45 = 165.039,45
Granada 5							181.140,33			181.140,33 = 181.140,33
Huelva 6							101.793,99			101.793,99 = 101.793,99
Jaén=AC 7							138.929,42			138.929,42 = 138.929,42
Málaga 8							305.809,74			305.809,74 = 305.809,74
Sevilla 9							381.661,82			381.661,82 = 381.661,82
							1.651.665,13			

Tabla 10.1.1-4 Solución inicial. Previa a cálculo de Solver.

Tras la matriz inicial (sin calcular) de cantidades a transportar, y que será el objeto del cálculo por parte de solver, exponemos la matriz que representa los costes de dichos transportes.

Conocidos los costes de transporte de larga distancia, y sabiendo que el transporte dentro de las RV es fijo, e igual a 62.280,00 u.m. Calculadas las transacciones a efectuar, y el coste derivado de la capacidad de almacén, obtenemos el valor total del sistema de transporte diseñado.

Los datos de ingresos por ventas y costes en materia prima también son fijos, por ser fijos los precios de venta al público y el de materia prima.

Por diferencia, obtendremos el beneficio antes de impuestos de cada modelo estudiado.

Costes de transportes		Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén=AC	Malaga	Sevilla		
Almería	1							48.121,32			48.121,32	
Cádiz	2							81.619,20			81.619,20	
Algeciras	3							19.327,88			19.327,88	
Córdoba	4							17.854,20			17.854,20	
Granada	5							15.473,64			15.473,64	
Huelva	6							37.975,60			37.975,60	
Jaén=AC	7											
Malaga	8							66.882,40			66.882,40	
Sevilla	9							92.841,84			92.841,84	
											380.096,08	Transporte Long Haul
											62.280,00	Transporte Short Haul
							2.695,00				2.695,00	Transacciones
							1.572,00				1.572,00	Capacidad de almacén
											446.643,08	a
											1.412.000,00	b
											465.864,00	c
											499.492,92	b-a-c

Tabla 10.1.1-5 Solución Inicial. Previo a cálculo.

Como se indica, estos son los valores iniciales. A continuación procedemos a realizar el cálculo en Solver, y nos dará la solución óptima ajustada a los parámetros elegidos.

Como se puede observar en esta figura, podemos optar tanto por minimizar los costes de transporte (flecha roja), como maximizar, directamente, los beneficios antes de impuestos (flecha verde). El resultado de cálculo es el mismo.

Para calcularlo, basta con acceder al menú del complemento SOLVER (Excel → herramientas → Solver) y seleccionar los parámetros de cálculo:

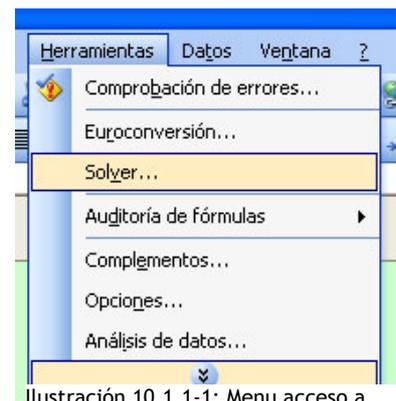


Ilustración 10.1.1-1: Menú acceso a complemento Solver en Excel.

En primer lugar se define la celda objetivo, donde calcularemos el resultado del modelo. En ella se mostrará el resultado de la función para la que queremos encontrar la solución óptima, es decir, la suma de todos los costes que queremos minimizar.

También podemos seleccionar como objetivo el beneficio después de restar los costos (distribución + materia prima) a los ingresos. En este caso, como se ha indicado, lógicamente, se trataría de maximizar la función objetivo, los beneficios.

66.882,40	66.882,40	
92.841,84	92.841,84	
	380.096,08	Transporte Long Haul
	62.280,00	Transporte Short Haul
2.695,00	2.695,00	Transacciones
1.572,00	1.572,00	Capacidad de almacén
Total coste de transporte	446.643,08	a
	1.412.000,00	b
	465.864,00	c
Beneficio Antes de Impuestos	499.492,92	b-a-c

Para comenzar a utilizar la herramienta SOLVER, hemos de definir cual será la celda a calcular, y que queremos hacer: Maximizar, Minimizar o buscar valores que anulan la función.

Vamos a optar por maximizar el Beneficio Antes de Impuestos (que básicamente, en nuestro modelo, es minimizar los costes de transporte). Damos valor binario a la elección de abrir un almacén regional en cada región de ventas.

Tabla 10.1.1-6 Minimizar coste o maximizar Beneficio

Para el caso de Jaén, el valor es 1 siempre. Este signo positivo nos está determinando la ubicación del Almacén Central. Por tanto, de esta matriz de decisión, este valor es prefijado.

Otras restricciones son:

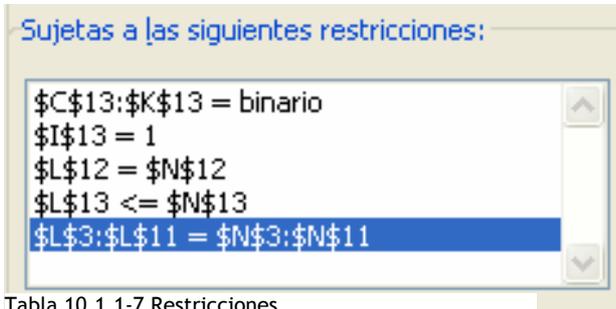


Tabla 10.1.1-7 Restricciones

Suma de demanda que llega a cada zona = Suma de demanda conocida. Con esta limitación evitaremos la distorsión de la solución nula, o no enviar la demanda a la zona. Obviamente sería el coste más bajo de transporte (también nulo), pero no es solución válida.

La oferta de todos los almacenes abiertos abastecerá al total demandado.

Finalmente, el máximo número de almacenes regionales, es 3, que junto con el almacén ya establecido, marcará un límite de 4.



Tabla 10.1.1-8 Parámetros de solver.

Dentro de SOLVER podemos optar por determinar un tiempo máximo de cálculo, un número máximo iteraciones, precisión, tolerancia, convergencia. Indicar si se trata de un modelo lineal, o si vamos a tomar solo los valores positivos.

Cada una de estas opciones queda perfectamente definida mediante la ayuda de Microsoft, y otro material de interés, como el video que aparece en la página web del grupo IO, de la ESI de Sevilla.

En un primer cálculo, el resultado nos indica que para bajar los costes de transporte desde 380.000 iniciales hasta 365.467, debemos establecer los siguientes Almacenes regionales propuestos por el cálculo:

- Granada: para suministrar a Almería.
- Málaga: para suministrar a Algeciras.
- Sevilla: para suministrar a Huelva.

Los costes resultantes de esta alternativa óptima obtenida mediante Solver al problema de programación lineal son los que se muestran a continuación.

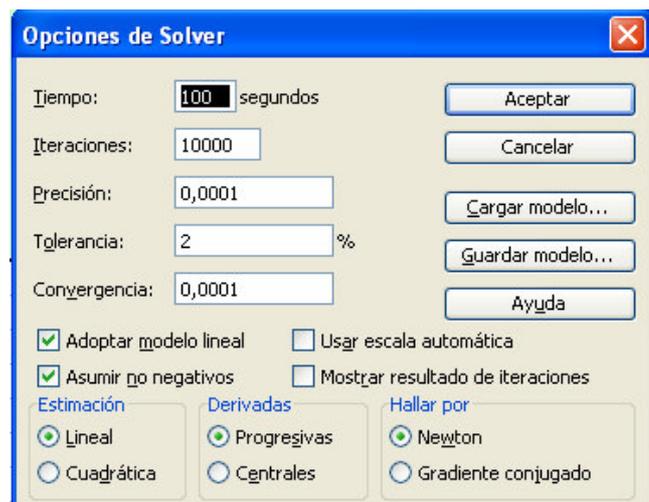


Tabla 10.1.1-9 Opciones de Solver.

Cantidades a transportar		Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén=AC	Malaga	Sevilla	1.651.665,13	
Almería	1	128.836,33										128.836,33 = 128.836,33
Cádiz	2							211.429,91				211.429,91 = 211.429,91
Algeciras	3	0,00							37.024,13			37.024,13 = 37.024,13
Córdoba	4							165.039,45				165.039,45 = 165.039,45
Granada	5							181.140,33				181.140,33 = 181.140,33
Huelva	6									101.793,99		101.793,99 = 101.793,99
Jaén=AC	7							138.929,42				138.929,42 = 138.929,42
Malaga	8							305.809,74				305.809,74 = 305.809,74
Sevilla	9							381.661,82				381.661,82 = 381.661,82
						128.836,33		1.384.010,67	37.024,13	101.793,99	1.651.665,13 =	1.651.665,13

Almacenes Óptimos a instalar: matriz Yj (valores binarios si/no instalar)

					Yj	
	1	1	1	1	4	4 ≤ Limite Almacenes

Tabla 10.1.1-10 Solución Solver. Asignación de demanda calculada.

Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Malaga	Sevilla	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Malaga	Sevilla	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Malaga	Sevilla
1	2	3	4	5	6	8	9	1	2	3	4	5	6	8	9	1	2	3	4	5	6	8	9
X41	X42	X43	X44	X45	X46	X48	X49	X51	X52	X53	X54	X55	X56	X58	X59	X61	X62	X63	X64	X65	X66	X68	X69
1								1								1							
	1								1								1						
		1								1								1					
			1								1								1				
				1								1								1			
					1								1								1		
						1								1								1	
							1								1								1
								1								1							
									1								1						
										1								1					
											1								1				
												1								1			
													1								1		
														1								1	
															1								1

X41	X42	X43	X44	X45	X46	X48	X49	X51	X52	X53	X54	X55	X56	X58	X59	X61	X62	X63	X64	X65	X66	X68	X69
4,80E-01	2,87E-01	4,50E-01		1,88E-01	2,63E-01	1,59E-01	1,38E-01	2,19E-01	3,72E-01	4,01E-01	2,06E-01		4,15E-01	1,52E-01	2,80E-01	8,02E-01	2,66E-01	4,19E-01	2,43E-01	3,50E-01		2,95E-01	9,98E-02
364	268	294		200	236	172	133	166	347	262	200		373	164	269	608	248	274	236	373		318	96
								128.836,33															

8,09 5,96 6,53 4,44 5,24 3,82 2,96 3,69 7,71 5,82 4,44 8,29 3,64 5,98 13,51 5,51 6,09 5,24 8,29 7,07 2,13

Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Malaga	Sevilla	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Malaga	Sevilla
1	2	3	4	5	6	8	9	1	2	3	4	5	6	8	9
X81	X82	X83	X84	X85	X86	X88	X89	X91	X92	X93	X94	X95	X96	X98	X99
1								1							
	1								1						
		1								1					
			1								1				
				1								1			
					1								1		
						1								1	
							1								1
								1							
									1						
										1					
											1				
												1			
													1		
														1	
															1

1.651.665,00
128.836,33
211.429,91
37.024,00
165.039,45
181.140,33
101.793,99
305.809,74
381.661,82

X81	X82	X83	X84	X85	X86	X88	X89	X91	X92	X93	X94	X95	X96	X98	X99		
2,77E-01	2,87E-01	2,11E-01	1,77E-01	1,54E-01	3,54E-01		2,24E-01	6,64E-01	1,55E-01	2,86E-01	1,37E-01	2,53E-01	1,07E-01	1,99E-01			
210	268	138	172	164	318		215	503	145	187	133	269	96	215			
							37.024,00									101.793,99	
4,67	5,96	3,07	3,82	3,64	7,07		4,78	11,18	3,22	4,16	2,96	5,98	2,13	4,78			

Los resultados del solver aplicado con esta propuesta quedan ordenados automáticamente en la hoja de cálculo de la siguiente forma:

RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN						
Rutas	Cantidad	Origen	Destino	Ruta	Dias	NºCam
X72	211.429,91	7	2	De Jaén hasta Cádiz	2,00	4
X74	165.039,45	7	4	De Jaén hasta Córdoba	2,33	3
X75	309.976,67	7	5	De Jaén hasta Granada	2,02	5
X78	342.833,74	7	8	De Jaén hasta Malaga	5,24	6
X79	483.455,81	7	9	De Jaén hasta Sevilla	5,20	8
X51	128.836,33	5	1	De Granada hasta Almería	3,69	3
X83	37.024,00	8	3	De Malaga hasta Algeciras	3,07	1
X96	101.793,99	9	6	De Sevilla hasta Huelva	2,13	2
1.512.735,58 Mercancía que sale de Jaén (LH AC a AR)					2,64	
138.929 Mercancía propia de Jaén					2	
267.654,33 Mercancía que sale de otros AR (AR a RV)					4,16	
1.651.665,00 CANTIDAD TOTAL					3,26	Espera promedio

FUNCION OBJETIVO:

365.467,39

Tabla 10.1.1-13 Resultados económicos y de asignación de demanda. Rutas, camiones y espera media.

Como se puede observar, la forma de plantearlo es diferente, pero los resultados obtenidos son los mismos.

En esta forma de presentar los resultados añadimos la variable “tiempo” de entrega media a clientes.

10.1.2. Modelo ANDALD.WHL: Resultado Obtenido con Solver.

Una vez obtenido el resultado del cálculo efectuado por Solver, vamos a representarlo sobre el software empleado en el proyecto siguiendo la metodología vista en apartados anteriores.

Primero seleccionamos las regiones de venta que pasarán a ser almacenes regionales, esto es, Sevilla, Málaga y Granada recibirán la mercancía desde Jaén (AC).



Ilustración 10.1.2-1: AC + 3 AR

Desde estos nuevos almacenes se realizará el suministro para otras regiones de venta según la asignación obtenida.



Ilustración 10.1.2-2: Asignación de las RV a los AR

La distribución se hace sin problemas, y aunque el aprovechamiento de camiones no es alto, el coste de transporte se reduce según lo calculado. Estos son los correspondientes a cada ruta:

Assign Demand to Routes												
Non-Warehouse Regions	1. Almería	2. Cádiz	3. Algeciras	4. Córdoba	6. Huelva	Totals	Trips per Week	Total per Trip	Truck Utilization	Days Until Next Truck	Route Length (mi.)	Transport Cost (\$/yr)
Weekly Demand	25	41	7	32	20	125						
Unassigned Demand	0	0	0	0	0	0						
Route 1 : 7-> 4				32		32	3	11	91,67 %	2,3	105	\$17.854
Route 2 : 7-> 2		41				41	4	10	83,33 %	1,8	360	\$81.619
Route 3 : 9-> 6					20	20	2	10	83,33 %	3,5	96	\$10.883
Route 4 : 8-> 3			7			7	1	7	58,33 %	7,0	138	\$7.822
Route 5 : 5-> 1	25					25	3	8	66,67 %	2,3	166	\$28.227

Tabla 10.1.2-1 Asignación de demanda a rutas.

Las políticas de stock se mantienen, y las dimensiones de capacidad de los almacenes se dimensionarán al mínimo suficientes para la cantidad de material que pasa por ellos, teniendo en cuenta la demanda de las regiones asignadas a cada nuevo almacén regional.

Warehouse Design and Policy Results						
Warehouses	Capacity Cost (\$/Yr)	Weekly Volume	Truck Util. (% of 12)	Long Haul Cost From Central	Weeks Until Next Truck From Central	Estimated ReSupply Lead Time
Granada	\$1.172	60	100,00 %	\$25.624	0,20	0,52
Jaén (Central)	\$1.270	99	0,00 %	\$0	0,07	0,35
Málaga	\$1.182	66	100,00 %	\$73.528	0,18	0,56
Sevilla	\$1.231	93	100,00 %	\$102.874	0,13	0,51
Totals	\$4.855	318		\$202.026		

Tabla 10.1.2-2 Diseño de almacenes.

Warehou										
Warehouses	Cycle Stock A	Cycle Stock B	Cycle Stock C	Safety Stock A	Safety Stock B	Safety Stock C	Total Stock (SqFt)	Capacity Utilization	Annual No. of Transactions	Transaction Cost
Granada	\$1.345	\$504	\$504	\$667	\$0	\$0	107	97,37 %	67	\$506
Jaén (Central)	\$2.234	\$838	\$838	\$1.658	\$186	\$0	204	97,16 %	112	\$840
Málaga	\$1.488	\$558	\$558	\$758	\$2	\$0	119	99,44 %	75	\$560
Sevilla	\$2.100	\$787	\$787	\$906	\$11	\$0	163	95,79 %	105	\$790
Totals	\$7.167	\$2.687	\$2.687	\$3.989	\$199	\$0	593		359	\$2.693

Set Warehouse Design and Policy									
Warehouses	Capacity x 10 SqFt	Trips per Week From Central	Cycle Stock A Weeks of Supply	Cycle Stock B Weeks of Supply	Cycle Stock C Weeks of Supply	Target Fill Rate A	Target Fill Rate B	Target Fill Rate C	
Granada	11	4,97	2,0	4,0	12,0	99,0 %	98,0 %	97,0 %	
Jaén (Central)	21	14,74	2,0	4,0	12,0	99,0 %	98,0 %	97,0 %	
Málaga	12	5,50	2,0	4,0	12,0	99,0 %	98,0 %	97,0 %	
Sevilla	17	7,76	2,0	4,0	12,0	99,0 %	98,0 %	97,0 %	

Tabla 10.1.2-3 Políticas de stock.

Se observan los niveles de utilización obtenidos para cada almacén, según la frecuencia de reabastecimiento, tasa objetivo de llenado y la dimensión necesaria.

Y finalmente obtendremos los resultados del modelo. Siendo los siguientes:

Warehouse Location Designer - [Scorecard]			
Edit Report			
Annual Net Income	Avg. Cust. Wait (days)		
\$527.001	3,24		
Warehouse Location Designer - [Net Income Statement]			
Edit Report			
Sales Revenue			\$1.412.000
CGS @ \$28,20/SqFt			\$465.864
Gross Profit			\$946.136
Warehouse Capacity Cost			\$4.855
Warehouse Transaction Cost			\$2.695
Transportation Cost:			
Long Haul from Central		\$202.026	
Long Haul to BBP		\$146.405	
Short Haul to Customers		\$62.280	
Total Transportation Cost			\$410.711
Inventory Investment:			
Pipeline Stock from Central	\$479		
Pipeline Stock to BBP	\$281		
Cycle Stock	\$12.542		
Safety Stock	\$4.189		
Total Inventory Investment		\$17.491	
Investment Finance Cost @ 5,0%			\$875
Total Distribution System Cost			\$419.135
Net Income Before Tax			\$527.001

Tabla 10.1.2-4 Resultados económicos y espera media.

Customer Service Report							
Region Index	Sales Region	Percent Demand	Expected Replenishment Days	Pick and Pack Days	Days Until Next Truck	Long Haul Days	Total Wait (to BBP)
1	Almería	7,81 %	0,00	2,00	2,33	0,46	4,80
2	Cádiz	12,77 %	0,01	2,00	1,75	0,38	4,76
3	Algeciras	2,24 %	0,01	2,00	7,00	0,29	9,39
4	Córdoba	9,99 %	0,01	2,00	2,33	0,00	4,63
5	Granada	10,96 %	0,00	2,00	0,00	0,00	2,00
6	Huelva	6,17 %	0,01	2,00	3,50	0,27	5,77
7	Jaén	8,41 %	0,01	2,00	0,00	0,00	2,01
8	Málaga	18,52 %	0,01	2,00	0,00	0,00	2,01
9	Sevilla	23,12 %	0,01	2,00	0,00	0,00	2,01
	Wtd. Avg.	100,00 %	0,01	2,00	1,01	0,22	3,24

Tabla 10.1.2-5 Tiempos de espera de cada RV

Warehouse Cost Report								
WH Index	Warehouse Location	Capacity (SqFt)	Warehouse Capacity Cost (\$/Yr)	Transactions (No./Yr)	Warehouse Transaction Cost (\$/Yr)	Distance from Central (Mi)	Transport Cost (\$/Yr)	Pipeline Stock (\$)
1	Almería	0	\$0	0	\$0	283	\$0	\$0
2	Cádiz	0	\$0	0	\$0	360	\$0	\$0
3	Algeciras	0	\$0	0	\$0	341	\$0	\$0
4	Córdoba	0	\$0	0	\$0	105	\$0	\$0
5	Granada	110	\$1.172	67	\$506	91	\$25.624	\$61
6	Huelva	0	\$0	0	\$0	335	\$0	\$0
7	Jaén	210	\$1.270	112	\$840	0	\$0	\$0
8	Málaga	120	\$1.182	75	\$560	236	\$73.528	\$174
9	Sevilla	170	\$1.231	105	\$790	234	\$102.874	\$244
	Totals	610	\$4.855	359	\$2.695		\$202.026	\$479

Tabla 10.1.2-6 Costes de almacén.

10.1.3. Cuadro Comparativo de Modelos Estudiados.

MODELO	ANDALC	ANDALO	ANDALZ	ANDAL1	ANDALD
Almacén central	7(JA)	7(JA)	7(JA)	7(JA)	7(JA)
Almacenes Regionales	-	-	SE	SE	SE-MA-GR
Rutas (nº)	8	3	4	5	5
	Todas	CO-SE-HU MA-ALG-CA GR-AL	CO SE-HU MA-GR-AL SE-ALG-CA	CO SE.HU MA GR-AL SE-CA-ALG	CO SE-HU CA MA-ALG GR-AL
Superficie AC (JA)	520	520	340	340	210
Superficie AR1 (SE)	0	0	260	260	170
Superficie AR1 (MA)	0	0	0	0	120
Superficie AR1 (GR)	0	0	0	0	110
Suma de superficies	520	520	600	600	610
Coste de capacidad de AR	0	0	2.715	2.676	4.855
Coste de transacciones en AR	0	0	2.695	2.695	2.695
Suma de costes de almacenes	0	0	5.410	5.371	7.550
Coste Tte. Long Haul (AC->AR)	0	0	155.587	155.587	202.026
Coste Tte. Long Haul (AR->BBP)	380.096	536.646	420.736	230.121	146.405
Coste de transporte Short Haul (cte)	62.280	62.281	62.282	62.283	62.284
Suma de costes de transporte LH+SH	442.376	598.927	638.605	447.991	410.715
Niveles stock para clases A/B/C	99/98/97	99/98/97	99/98/97	99/98/97	99/98/97

Tabla 10.1.3-1 Cuadro comparativo de modelos estudiados.

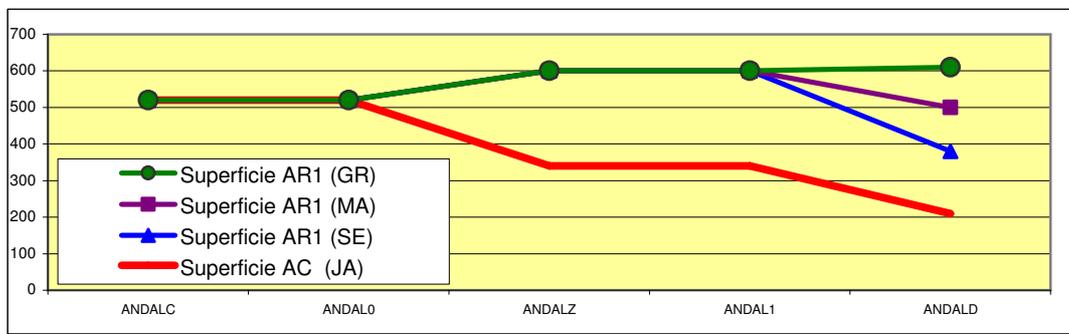


Ilustración 10.1.3-1: Gráfico Comparativo De Superficie De Almacenes en los Modelos Tratados.

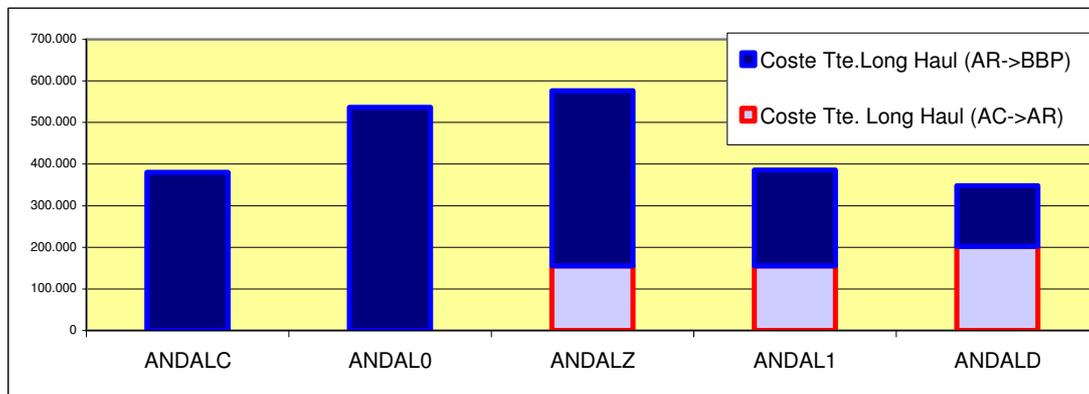


Ilustración 10.1.3-2: Gráfico Comparativo De Costes de Transporte de Larga Distancia En Los Modelos Tratados

10.1.4. Comprobación de resultados

Finalmente parece lógico preguntarse ¿es el modelo que proponemos el mejor? Incluso parece lógica la aparición de dudas concretas a la vista del gráfico de burbujas que se expuso anteriormente. Por ejemplo, nos preguntamos, ¿No es más económico abastecer a Cádiz desde la Central?

Intuitivamente parece una mejor solución, y estimamos conveniente verificar esta posibilidad frente a la solución obtenida matemáticamente mediante solver. Esta verificación o duda responde al tipo de análisis ¿Qué pasa si...? O “What if”.

Cantidades a transportar		Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén=AC	Malaga	Sevilla	
Almería	1					128.836,33					128.836,33 = 128.836,33
Cádiz	2									211.429,91	211.429,91 = 211.429,91
Algeciras	3								37.024,13		37.024,13 = 37.024,13
Córdoba	4							165.039,45			165.039,45 = 165.039,45
Granada	5							181.140,33			181.140,33 = 181.140,33
Huelva	6									101.793,99	101.793,99 = 101.793,99
Jaén=AC	7								138.929,42		138.929,42 = 138.929,42
Malaga	8								305.809,74		305.809,74 = 305.809,74
Sevilla	9									381.661,82	381.661,82 = 381.661,82
						128.836,33		1.172.580,76	37.024,13	313.223,90	1.651.665,12 = 1.651.665,12
Ubicación de almacenes						1		1	1	1	4 <= 4

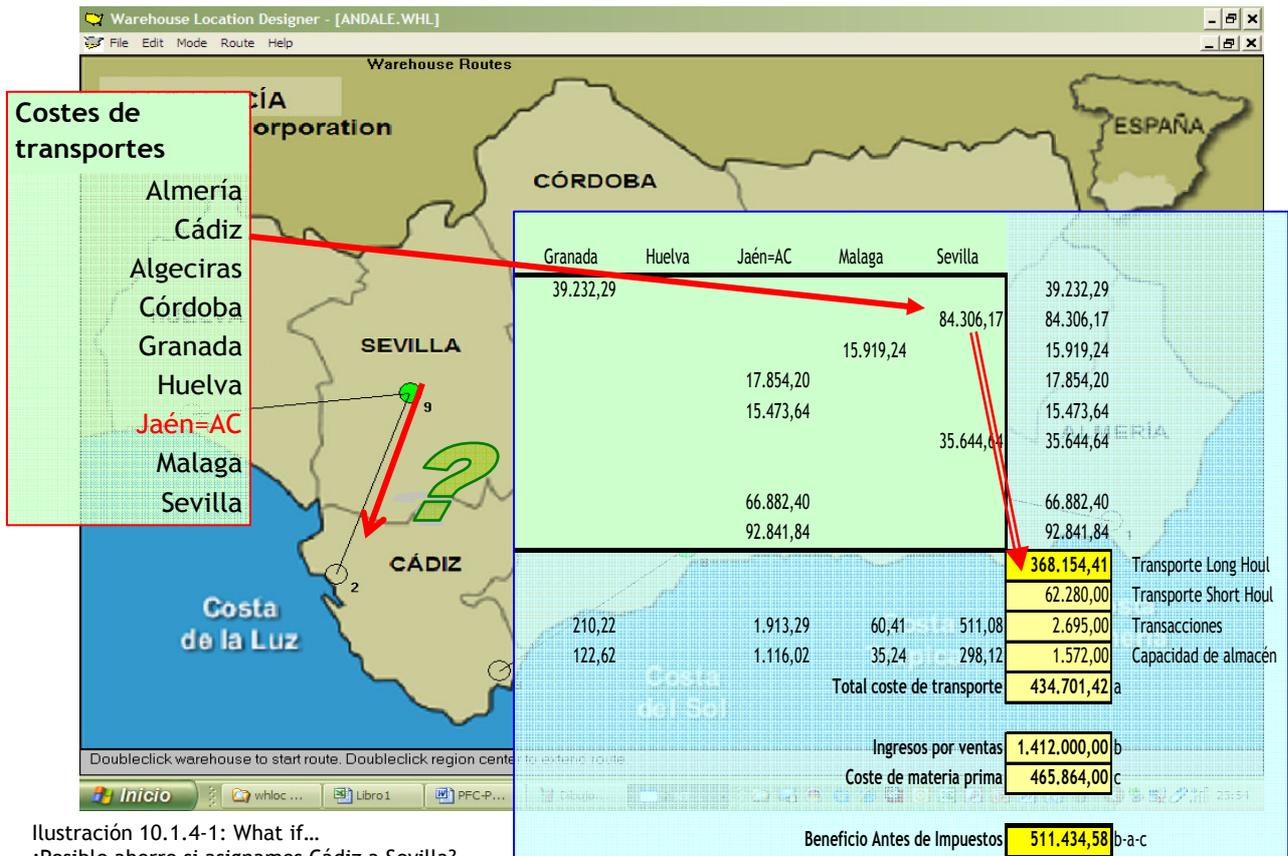


Ilustración 10.1.4-1: What if...
¿Posible ahorro si asignamos Cádiz a Sevilla?

Como se observa, los 81.619 euros que costaba llevar la demanda de Cádiz desde Jaén se convierten ahora en 84.306,17, por lo que el coste total de transporte también se eleva en casi 2.700 euros. Verificado que no se obtiene reducción, resulta más competitivo abastecer la demanda de Cádiz desde el AC directamente como nos había indicado la solución de SOLVER.

10.2. Aplicación Del Software WinQsB 2.0.

Dentro del programa didáctico Quantitative System for Business Plus bajo entorno Windows (WinQSB) de la editorial Prentice Hall Inc. existen distintas aplicaciones, entre la que se ha elegido la denominada NET, que resuelve problemas de redes (network) mediante la utilización del método Simplex.

Está diseñado para resolver problemas de redes, incluidos los de flujo de capacidad limitada: ruteo, transporte, asignación, ruta más corta, flujo máximo, árbol de decisiones, y problema del agente viajero. Una red incluye nudos y conexiones (arcos o enlaces). Cada nodo tiene una capacidad para las redes de flujo y problemas de transporte. Si hay una relación entre dos nodos, probablemente ésta lleve asociado un coste, beneficio, tiempo, distancia, o capacidad de flujo asociada a la relación.

Según el problema tipo elegido, NET elegirá la conexión o envío para optimizar la función objetivo especificada:

Las capacidades específicas de NET incluyen.

- Network Simplex: para la red de flujo, transporte, asignación y problemas de flujo máximo.
- Algoritmo de etiquetado o marcaje, para el problema de ruta mínima.
- Algoritmo de marcaje para el problema de árbol de decisiones.
- Método Branch & Bound y heurísticos para el problema del Agente Viajero.
- Muestra los pasos hacia la solución, incluyendo tabla transporte y método Húngaro.
- Muestra la solución gráfica.
- Realiza simulaciones “que pasa si” (“What if”) y análisis paramétrico.
- Encuentra la solución alternativa para problemas de transporte.
- La entrada de datos del problema se realiza en forma de hoja de cálculo matricial.
- También se puede hacer en el modelo gráfico.

Introducidas las variables de demanda de cada RV y la producción del almacén central AC (Jaén), así como los costes unitarios de transporte entre cualquier combinación de puntos podemos obtener igualmente la solución óptima del problema.

La introducción de datos se realiza mediante una matriz en la que se muestran orígenes y destinos posibles. De entre las rutas representadas el programa calculará usando el método simplex la solución más económica para el problema planteado.

From \ To	Almería	Cádiz	Algeciras	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén (AC)	Málaga	Sevilla	Supply
Almería		0,6595	0,5266	0,375	0,1558	0,6771	0,3464	0,1946	0,5229	0
Cádiz	0,8117		0,1944	0,2761	0,3257	0,2762	0,4406	0,2484	0,1507	0
Algeciras	0,454	0,1362		0,3029	0,2459	0,3051	0,4174	0,1279	0,1944	0
Córdoba	0,4804	0,2874	0,4501		0,1877	0,2628	0,1285	0,1594	0,1383	0
Granada	0,2191	0,3721	0,4011	0,2061		0,4154	0,1114	0,152	0,2796	0
Huelva	0,8024	0,2659	0,4195	0,2432	0,3501		0,41	0,2947	0,0998	0
Jaén (AC)	0,3735	0,386	0,522	0,1082	0,0854	0,3731		0,2187	0,2433	1651664
Málaga	0,2772	0,2874	0,2113	0,1772	0,154	0,3541	0,2888		0,2235	0
Sevilla	0,6639	0,1555	0,2863	0,137	0,2525	0,1069	0,2864	0,1992		0
Demand	128836	211430	37024	165039	181140	101794	138929	305810	381662	

Ilustración 10.1.4-2: Pantalla WinQsB matriz de costes unitarios y cantidades demanda/oferta

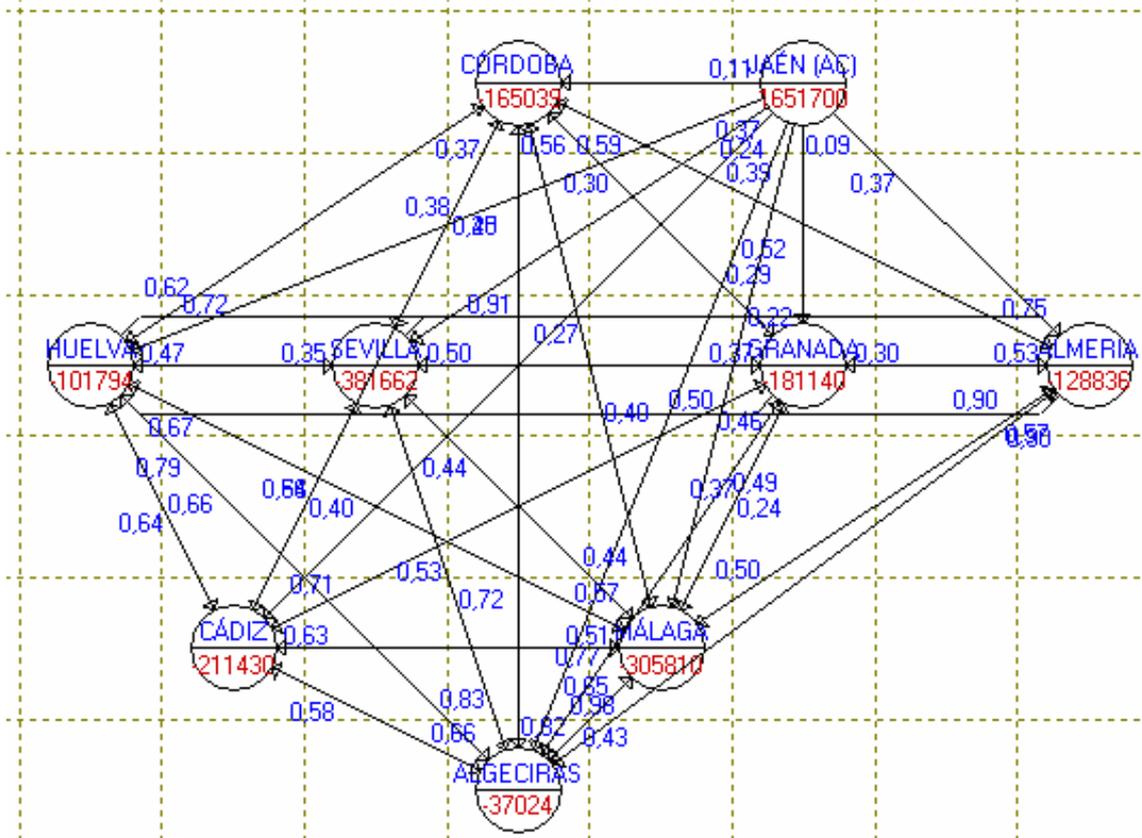


Ilustración 10.1.4-3: Nodos y arcos. Red de costes y cantidades demanda/oferta.

El valor final de la función objetivo coincide con el hallado mediante la utilización de solver en apartados anteriores.

Network Modeling

File Format Results Utilities Window Help

Solución WinQsB: Minimización (Network Flow Problem)

03-20-2007	From	To	Flow	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	Granada	Almería	128836	0,22	28.227,97	0
2	Jaén (AC)	Cádiz	211430	0,39	81.611,98	0
3	Jaén (AC)	Córdoba	165039	0,11	17.857,22	0
4	Jaén (AC)	Granada	309976	0,09	26.471,95	1,490116E-08
5	Jaén (AC)	Málaga	342834	0,22	74.977,80	0
6	Jaén (AC)	Sevilla	483456	0,24	117.624,84	0
7	Málaga	Algeciras	37024	0,21	7.823,17	0
8	Sevilla	Huelva	101794	0,11	10.881,78	0
	Total	Objective Function	Value =		365.476,69	

Ilustración 10.1.4-4: Pantalla Resultado de Cálculo. Rutas y costes

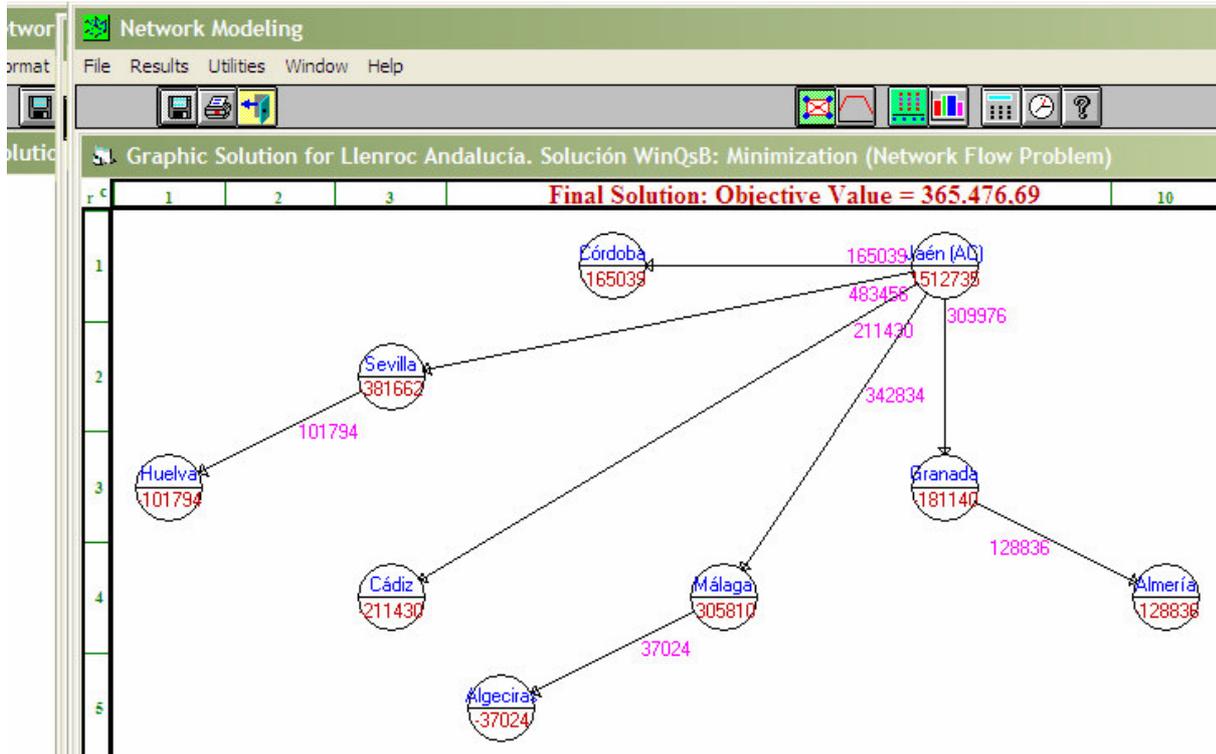


Ilustración 10.1.4-5: Representación gráfica de la solución óptima.

03-20-2007 13:38:33	Node	Supply	Demand	Shadow Price	Allowable Min. Value	Allowable Max. Value
1	ALMERIA	0	128836	0,37	0	128836
2	CÁDIZ	0	211430	0,39	0	211430
3	ALGECIRAS	0	37024	0,52	0	37024
4	CÓRDOBA	0	165039	0,11	0	165039
5	GRANADA	0	181140	0,09	0	181140
6	HUELVA	0	101794	0,37	0	101794
7	JAÉN (AC)	1651700	0	0	1651700	M
8	MÁLAGA	0	305810	0,22	0	305810
9	SEVILLA	0	381662	0,24	0	381662

Ilustración 10.1.4-6: Pantalla de precios sombra

11. CONCLUSIONES.

Tras los distintos análisis realizados sobre los sistemas de distribución en que se ha basado el desarrollo de este proyecto, llegamos a las siguientes conclusiones generales:

Una visión clara de los objetivos y el conocimiento del entorno y sus límites serán la clave para realizar un correcto planteamiento del problema global de DISEÑAR UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA y acercarnos al posible éxito de nuestras decisiones.

El diseño debe ser enfocado como un problema global cuyo objetivo final es la propia meta de la empresa: Maximizar el Beneficio, asegurando su futuro. Obtener mayores ingresos en un determinado horizonte temporal implica ajustar costes y conseguir -y mantener- una posición competitiva. Tendremos que ofrecer por tanto: **Precio, Plazo y Calidad.**

Una escasa **inversión** en instalaciones puede implicar un menor acercamiento al cliente, y por lo tanto **peor servicio** (calidad), pero otorga **mayor independencia y agilidad** ante nuevas oportunidades.

Los principales elementos de la función de costes y tiempos de un sistema de distribución física suelen ser los relativos a almacenamiento y transporte, por tanto, **la cantidad de almacenes, su capacidad y su localización, y el correcto planeamiento del transporte que asegure la mejor respuesta al cliente son las principales decisiones en el diseño.** Son parámetros que, por su importancia y peso económico, necesitarán concienzudos análisis en el horizonte temporal. La implantación de cualquier medida relacionada con ellos será siempre una decisión de primer nivel en la empresa.

Como hemos visto, podemos optar entre **existencias centralizadas o descentralizadas** en depósitos ubicados en áreas de consumo o cerca de los clientes. La centralización presenta ventajas en cuanto a menores costos de inventario y de manejo de materiales, más fácil y mejor control de existencias y menos complicaciones administrativas. Mientras que, descentralizar implica un mejor servicio al cliente por rapidez y flexibilidad en la entrega. Como alternativa intermedia se plantea la posibilidad de establecer **centros intermedios** de distribución, concebidos como sistemas integrados para atender mercados de cierta significación, y que manejan toda la operatoria de distribución, desde la recepción del pedido hasta su procesamiento y entrega.

La posición competitiva de la empresa (**inventarios** en el lugar y momento oportunos) puede servir como un **arma estratégica**, pudiéndose asumir mayores costos con el propósito de fortalecer la posición comercial. Pero unos inventarios mayores presentan ciertas complicaciones particulares, como disponer de ellos en distintos lugares, lo que implica su automatización y análisis para cada centro de almacenamiento antes de su evaluación en conjunto. Ello complica el modelo de cálculo e incrementa su magnitud.

Una correcta **evaluación de costes puede justificar la externalización** de actividades de almacenamiento y/o transporte hasta clientes o puntos intermedios de encuentro.

El **principio de prudencia** debe ser una constante en nuestras decisiones. Siempre será más fácil abrir un centro nuevo si detectamos un buen funcionamiento de una zona de ventas o una nueva oportunidad, que desmontar instalaciones cuyo coste puede convertirse en un lastre insalvable. La prudencia no debe ser incompatible con el espíritu emprendedor y la proactividad ante nuevas oportunidades o su búsqueda.

Diseñar adecuadamente un sistema de distribución, exige conocer profundamente el entorno y las variables que lo definen, es decir, los factores que determinarán la decisión a cada problema puntual para llegar a la mejor solución al problema.

Estos factores podemos agruparlos en:

- **Características del productor:** Nuestra dimensión y capacidad productora. Posibilidades financieras. Objetivos económicos y sociales. Políticas de expansión, de asociación, de subcontratación, externalización o out-sourcing... (almacenamiento, transporte, mano de obra,...)
- **Características del producto:** Su dimensión, fragilidad, obsolescencia, caducidad, etc.
- **Características de los clientes:** Conocer la demanda cuantitativa y cualitativamente (plazos de entrega, ventanas de tiempo, prestaciones, servicio postventa, niveles de exigencia). Estado actual y previsiones. Sensibilidad y posibles respuestas ante nuestras decisiones.
- **Características del entorno:** Además de conocer el producto, el mercado y a nosotros mismos, diseñar un sistema de distribución implica conocer el entorno: La competencia (precios y nivel de servicio, fundamentalmente); los límites administrativos y legales; la técnica y tecnología disponible, y niveles de compatibilidad: Medios de transporte, sistemas de información y control. Mercado inmobiliario (¿comprar, alquilar, externalizar?). Aspectos medioambientales.

En definitiva, **ningún sistema de distribución física puede a la vez maximizar los servicios al cliente y minimizar los costos de distribución.** Elegir el mejor diseño para un sistema de distribución física supondrá, por tanto, encontrar el mejor equilibrio entre la reducción de costes (aumentar beneficios) y el aumento de nivel de servicio (entendido como menor tiempo de respuesta y mayor calidad). A lo largo de los distintos modelos ha quedado patente la necesidad de sacrificar beneficio o nivel de servicio. **Buscar una relación que permita decidir y seleccionar de forma razonada la mejor solución para ambos objetivos contrapuestos ha sido una de las partes más interesantes del proyecto.**

La dimensión del planteamiento de forma integrada del problema global de la cadena logística crece exponencialmente a medida que se precisan factores específicos (zoom in) y a medida que pretendemos generalizar su validez (zoom out). Esta integración global supone la verdadera complicación y el objeto del proyecto. El análisis independiente de cada uno de los problemas parciales que definen un sistema de distribución nos acerca a una solución óptima global, pero no la asegura. Existen numerosas técnicas que permiten mejorar y optimizar soluciones a estos problemas, de las cuales hemos empleado algunas a lo largo del proyecto.

El aumento en la **preocupación por los costes** ha significado la aceptación y uso por parte del tejido **empresarial** de las teorías de optimización y, consecuentemente, una **aceleración en la búsqueda** de nuevas soluciones al problema de la distribución, tanto a nivel teórico (planteamiento conceptual y cálculo) como en su aplicación mediante **nuevas tecnologías** (GPS, etiquetado, seguimiento de pedidos ... y sistemas informáticos de gestión integrada -estándares y/o parametrizables, que recogen ya probadas técnicas de decisión: algoritmos, heurística, meta-heurística, inteligencia artificial... y potentes herramientas de simulación y soluciones gráficas). Las nuevas soluciones se ajustan cada vez más a las exigencias marcadas por el crecimiento exponencial demográfico y económico mundial.

Este crecimiento desembocará, previsiblemente en breves décadas, en otra gran revolución en el campo de la distribución física, en concreto en lo referente a medios de transporte por la inevitable sustitución de las principales fuentes energéticas actuales (agotamiento y/o medioambiente).

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS

- Castán Farrero, J.M., Cabañero Pisa, C., Núñez Carballosa, A., La logística en la empresa: fundamentos y tecnologías de la información y de la comunicación. Ediciones Pirámide, 2003.
- Prida Romero, B., Gutiérrez Casas, G., Logística de aprovisionamientos: el cambio en las relaciones proveedor-cliente, un nuevo desafío para la empresa del siglo XXI. McGraw-Hill, 1998.
- García Benítez, F., Redes de Transporte : Teoría y Algoritmos. Sevilla. F. García. 2003.
- Mauleón Torres, M., Logística y costos. Editorial Diaz de Santos, 2006.
- Larrañeta, J., Onieva, L. y Lozano, S., Métodos modernos de gestión de la producción. Alianza Editorial, 1998.
- Gutiérrez Casas, G. y Prida Romero, B., Logística y Distribución Física, McGraw-Hill, 1998.
- Onieva, L., Cortés, P., Muñuzuri, J., García, R., Fernández I. Apuntes de clase de la asignatura: Diseño, Planificación y Gestión de Sistemas Productivos y Logísticos. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla.
- Ruiz, R., Apuntes de clase Sevilla de la asignatura: Métodos Cuantitativos de Organización Industrial. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla.
- Enlaces y recursos del Grupo IO (Ingeniería de Organización): <http://io.us.es/>
- Enlaces y recursos del Grupo de Desarrollo Tecnológico: <http://taylor.us.es/>
- Plataforma Tecnológica Española en el área de la Logística Integral: <http://www.logistop.org>
- Marín, J., Página personal: <http://www.jmingeneria.com/>
- Rodríguez Villalobos, A., Página personal: <http://personales.upv.es/~arodrigu/> (Proyectos Grafos y Redes).
- Curso de Logística Universidad de Monterrey.. <http://www.udem.edu.mx>
- Centro Nacional de competencia Logística Integral <http://www.cnc-logistica.org>
- Barcos Redín, L. Tesis Doctoral: Optimización de rutas de transporte de carga de muchos orígenes a muchos destinos mediante colonias de hormigas", Tecnum, 2003.
- Garcia F.A., Localización de Instalaciones. Universidad de Los Andes Facultad De Ciencias.
- Odette España. Proyecto internacional para establecer normas comunes sobre las prácticas comerciales, con origen en el sector del automóvil. Página web oficial: www.odette.es
- Gazmuri, P., Jorge, S., Vera A., Optimización en la gestión de la cadena de suministros. Dpto. Ingeniería Industrial y Sistemas. Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile, 1994.
- Observatorio de costes de transporte de mercancías por carreteras. Estudio realizado con la colaboración de AECOC.
- Solving Traveling Salesman Problems. Princeton University Press, 2003.
- Instituto de Estadística de Andalucía. www.juntadeandalucia.es/institutodeestadistica/
- Tamames, R., Informe Forestal 2001. Cátedra de Estructura Económica, UAM y Cátedra Jean Monnet de la Unión Europea.

SOFTWARE UTILIZADO

- Warehouse Location Designer. Universidad de Cornell. Itaca. Nueva York. EE.UU. P.L.Jackson, J. Muckstadt. Departamento de investigación de operaciones e ingeniería industrial.
- Microsoft Office Excel 2003. Complemento Solver.
- WinQsb 2.0. Quantitative System for Business Plus para Windows (WinQSB). Editorial Prentice Hall Inc.
- Primavera Project Planner 3.0. Primavera Systems Inc.

Nombre de archivo: PFC-FRG.Memoria.doc
Directorio: B:\Proy_Definitivo\Datos fuente
Plantilla: \\intranet\datossi\plantillas\Normal.dot
Título: DISEÑO DE SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
Asunto: The Llenroc Plastics Corporation
Autor: Fernando Rodríguez González
Palabras clave: almacén modelo coste ruta cliente
Comentarios:
Fecha de creación: 21/03/2007 12:06:00
Cambio número: 11
Guardado el: 22/03/2007 8:57:00
Guardado por: giasa
Tiempo de edición: 72 minutos
Impreso el: 22/03/2007 8:59:00
Última impresión completa
Número de páginas: 159
Número de palabras: 36.807 (aprox.)
Número de caracteres:202.439 (aprox.)