

01158

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN INGENIERÍA

PROGRAMACIÓN DE EMBARQUES DE TURBOSINA A
LOS AEROPUERTOS MÁS IMPORTANTES DE LA REPÚBLICA MEXICANA

Tesis que para obtener el grado de Maestro en
Ingeniería de Sistemas
en el área de Investigación de Operaciones
Presenta:

Iliana de Silva Muñoz
Director de tesis: Alejandro Ríos Galván

México D.F., noviembre de 2004

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

En Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), se lleva a cabo la programación de los embarques de combustible de PEMEX a todas las estaciones de combustible en los 63 aeropuertos de la República Mexicana. El procedimiento de programación así como el manejo de los inventarios en las estaciones se hace de manera empírica. Al ser ASA dueño del combustible que existe en las estaciones de los aeropuertos, es importante disminuir la inversión del inventario y hacer más eficientes los embarques los recursos de la compañía.

El objetivo de esta tesis fue el de diseñar un modelo para optimizar la tarea de programación de embarques y disminuir la inversión en inventario en las estaciones. El 80% de la demanda de combustible se genera en 10 aeropuertos. Estos aeropuertos son: Acapulco, Cancún, Guadalajara, Hermosillo, Mérida, México, Monterrey, Puerto Vallarta, San José del Cabo y Tijuana.

Para resolver el problema se utilizó un modelo de programación lineal el cual minimiza los costos de mantener el inventario al mismo tiempo que programa los embarques diarios a cada una de las estaciones de combustible de los nueve aeropuertos mencionados. Los resultados del programa arrojaron una disminución del 6.3% en inversión en inventario, además de una reducción en tiempo de programación y seguimiento de los embarques.

Para un problema sencillo, se puede encontrar modelo simple para mejorar muchos sistemas dentro de las organizaciones que ayuden a optimizar los recursos de las mismas y estar preparados para enfrentar a la competencia.

ABSTRACT

Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) sells fuel to all airlines flying into the 63 fuel stations in Mexico and it is supplied only from PEMEX. Shipment scheduling from PEMEX to all stations as well as inventory management is done on an empirical basis. Since ASA is owner of the inventory in all stations, the company requires a decision making model to reduce the inventory investment and the amount of human resources and time taken to schedule the shipments.

The objective of this Thesis was to find a model to reduce inventory investment and simplify the scheduling task. 80% of fuel demand is generated in ten of the 63 airports. These airports are Acapulco, Cancun, Guadalajara, Hermosillo, Merida, Mexico, Monterrey, Puerto Vallarta, San Jose del Cabo and Tijuana.

To solve the problem, a linear programming model was used to minimize the cost of holding inventory at the same time that schedules everyday shipments to each station. The results show a 6.3% reduction of average inventory investment, while simplifying the process, requiring less time and human resources to set the monthly shipments.

For a relatively simple problem, we can find also a simple model to improve many systems inside organizations in order to optimize resources and face competition.

Índice.

Resumen	
Introducción	
Capítulo 1. Descripción del Sistema	
1.1 Antecedentes	pág. 4
1.2 Programación de Embarques	pág. 10
1.3 Inventarios	pág. 11
1.4 Análisis FODA	pág. 12
1.5 Propuesta	
Capítulo 2. Instrumentos de análisis	
2.1 Distribución de combustible a nivel Internacional	pág. 16
2.2 Estado del Arte	pág. 18
2.3 Metodología	pág. 20
Programación Lineal	pág. 21
Teoría de Inventarios	pág. 22
Capítulo 3. Desarrollo del modelo	
3.1 Modelo	pág. 24
3.2 Semejanza con la realidad y supuestos	pág. 33
Resultados	pág. 35
Conclusiones	pág. 48
Referencias	pág. 50
Anexos	
Anexo I : Modelo	pág. 53
Anexo II : Comportamiento de la demanda y los Inventarios	pág. 61
Anexo III : Pronósticos	pág. 65
Anexo IV : Cálculo de Inventarios	pág. 69
Anexo V : Siglas de los aeropuertos	pág. 76
Agradecimientos	

Introducción

Muchas empresas en México realizan sus actividades de planeación y operación de manera empírica, es decir, sin los conocimientos de las teorías existentes para hacer más eficiente estas actividades y obtener mayores beneficios. De tal manera que conforme pasa el tiempo la experiencia es la que dicta la forma en que se toman las decisiones.

Esto repercute en lo acertadas que pueden ser las decisiones. Es cierto que la experiencia en muchos casos se acerca a una decisión óptima a lo largo de los años, pero la evidencia muestra que un análisis cuantitativo permite a la empresa encontrar una solución óptima, en menor tiempo, y mediante un proceso más eficiente.

La empresa en donde se realizó el estudio objeto de la tesis es Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) en la Subdirección de Combustibles. Una de las funciones de la Subdirección es la programación de los embarques de turbosina hacia todas las estaciones de combustible ubicadas en cada aeropuerto del país. El problema en la programación de embarques radica en el tiempo que se ocupa para la misma y los recursos humanos necesarios para su seguimiento. La programación se hace a mano para 63 estaciones de combustible, y de manera totalmente empírica, es decir, sin ningún modelo que sustente los cálculos realizados. Los inventarios resultantes de la programación de embarques son altos, ocasionando costos por mantenimiento del mismo muy elevados para ASA.

La propuesta del trabajo consiste en el diseño de un modelo de programación lineal que calcule de los embarques de cada aeropuerto con sus respectivos inventarios.

Una vez implementado y validado el nuevo programa de embarques, el tiempo requerido para la tarea mensual de programación se convierte en un trabajo de seguimiento de una o dos personas.

Los beneficios de utilizar el programa ofrecido son el ahorro de 6.3% promedio de la inversión en inventario en los 9 aeropuertos principales del país, así como una disminución en los recursos humanos necesarios para hacer la programación y el seguimiento de la misma. Esta disminución de inventario significa más dinero en las arcas de ASA, que pueden ser utilizadas para proyectos de mejora en muchas de las instalaciones en el país.

La tesis se divide en 3 capítulos, resultados y conclusiones. En el primer capítulo se describe el sistema en cuestión, los antecedentes y la problemática alrededor de la programación de embarques.

En el capítulo 2 se explica el instrumento de análisis, con una revisión de los conceptos teóricos y metodología utilizada, así como una revisión de la literatura existente.

En el capítulo 3 se muestra la descripción del modelo que resuelve el problema, la semejanza con la realidad y los supuestos realizados para la elaboración del modelo.

Seguido de esto, están los resultados y las conclusiones del trabajo que nos llevan a pensar como es que con un modelo sencillo de programación lineal, se puede mejorar un sistema de manera considerable.

Capítulo 1

Descripción del Sistema

Este capítulo describe la problemática que representa la programación de embarques de turbosina para los aeropuertos en el país. Se empieza con una breve historia de la formación de ASA y como se realiza la operación de distribución de combustible en el país y del comportamiento de la demanda del mismo. Seguido de esto, una explicación de la programación de los embarques dentro de las oficinas generales de ASA y el manejo de los inventarios que tienen. Para finalizar el capítulo se hace un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) de la subdirección de operaciones de ASA, a partir de lo observado y del cuál se desprende la propuesta objeto de esta tesis.

1.1 Antecedentes

La unidad ASA-combustibles, surge a partir de la integración en 1979, de la empresa Nacional de Combustibles de Aviación (NACOA), encargada del abastecimiento de combustibles y lubricantes del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México a la empresa Aeropuertos y Servicios Auxiliares.

En 1965 por decreto presidencial, se crea como Organismo Público Descentralizado, facultado para proporcionar entre otros servicios, el suministro de combustibles de aviación.

En agosto del 2002, se promulga un decreto modificatorio, en donde se abren posibilidades para ASA que incluyen entre otras, la posibilidad de alianzas estratégicas con el sector público y privado para poder impulsar la industria aeroportuaria a nivel internacional.

ASA tiene como misión contribuir al desarrollo social, económico y cultural del país, impulsando una red aérea eficiente y competitiva, para comunicar al mayor número de poblaciones. Además, desarrollar nuevos proyectos aeroportuarios para contribuir al bienestar social y económico del país.

Las tres líneas de negocio de ASA con Consultoría, Operación Aeroportuaria y Suministro de Combustibles.

La unidad de combustibles de aviación de ASA lleva a cabo los procesos de recepción, almacenamiento, control de calidad y suministro de

combustibles a las aeronaves comerciales, nacionales, extranjeras y gubernamentales en las 63 terminales aéreas existentes en la República Mexicana. En cada terminal existe una estación de combustibles que se encarga del abastecimiento a los aviones que arriban al aeropuerto.

El único proveedor de combustibles es PEMEX, que produce el combustible en distintas regiones del país y tiene asignada qué refinería es la que le surte a cada aeropuerto.

PEMEX produce el combustible y lo envía directamente a la estación dentro del aeropuerto, o a un centro embarcador en donde se almacena para después ser distribuido. En la figura 1.1 se muestran las refinерías, centros embarcadores y sus destinos, Ej.: CD. MADERO: CVM, PAZ, TAM, TMN, NLD, REX, MAM, (centro productor: destinos), para información acerca de las siglas, ver Anexo V.

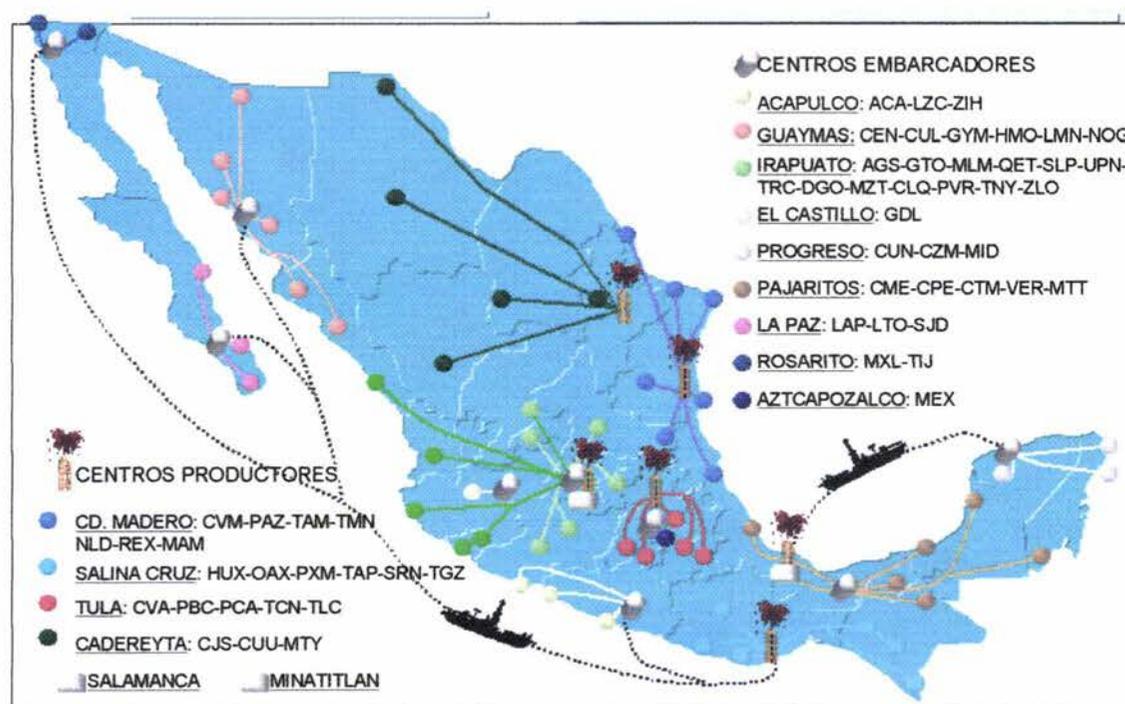


Fig 1.1. Red de embarques de PEMEX
Fuente: Subdirección de Combustibles, ASA

PEMEX distribuye el combustible de acuerdo a una programación de embarques que ASA-combustibles le proporciona una vez al mes. La

operación de programación de embarques está centralizada en las Oficinas Generales de ASA en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

En cada estación dentro de los aeropuertos existe una oficina que genera la información de existencias y demanda de combustible y la envía a las oficinas generales.

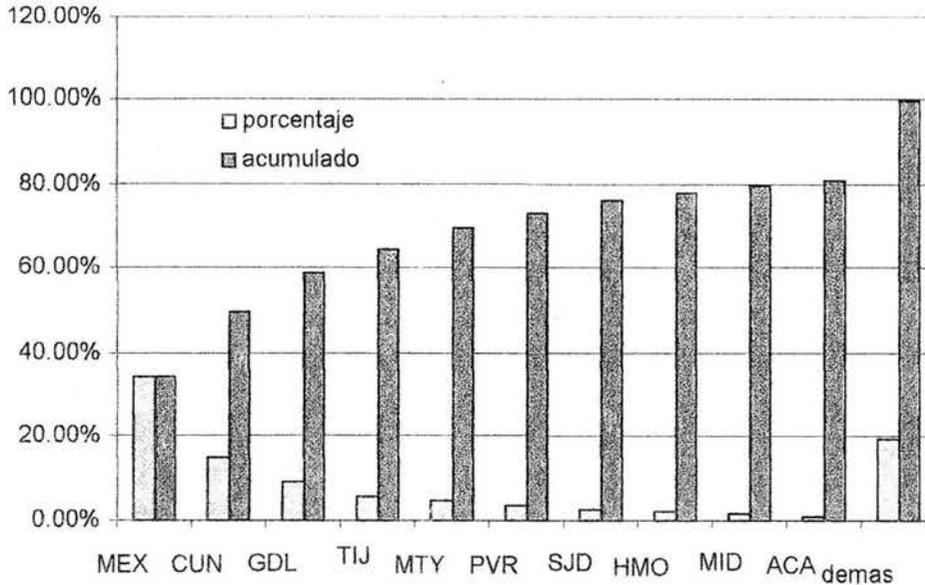
Los combustibles que maneja ASA son el gasavión y la turbosina. El gasavión es usado por los aviones no comerciales como son los de riego y la turbosina se utiliza para todos los vuelos comerciales, así como los del estado (PGR, Presidencia...). El volumen suministrado de turbosina representa el 99.99% de la demanda de combustible en el país, siendo el restante el gasavión, es por eso que en este trabajo sólo se estudia el comportamiento del primero.

La turbosina es distribuida por medio de auto-tanques que tienen una capacidad de 42,000 litros cada uno. El suministro al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, se hace por medio de Turbosino-ductos de manera continua, y el combustible se produce en Aztcapozalco.

1.11 Comportamiento de la Demanda de Turbosina

La demanda de litros de turbosina para los diez aeropuertos más importantes del país se puede ver en las Gráficas 1.1-1.3. Está concentrada en un 80% en 10 aeropuertos, éstos son Ciudad de México, Cancún, Guadalajara, Tijuana, Monterrey, Puerto Vallarta, San José del Cabo, Hermosillo, Mérida y Acapulco. La gráfica 1.1 muestra el porcentaje de demanda y su acumulado para entender el efecto 80-20.

Porcentaje de demanda

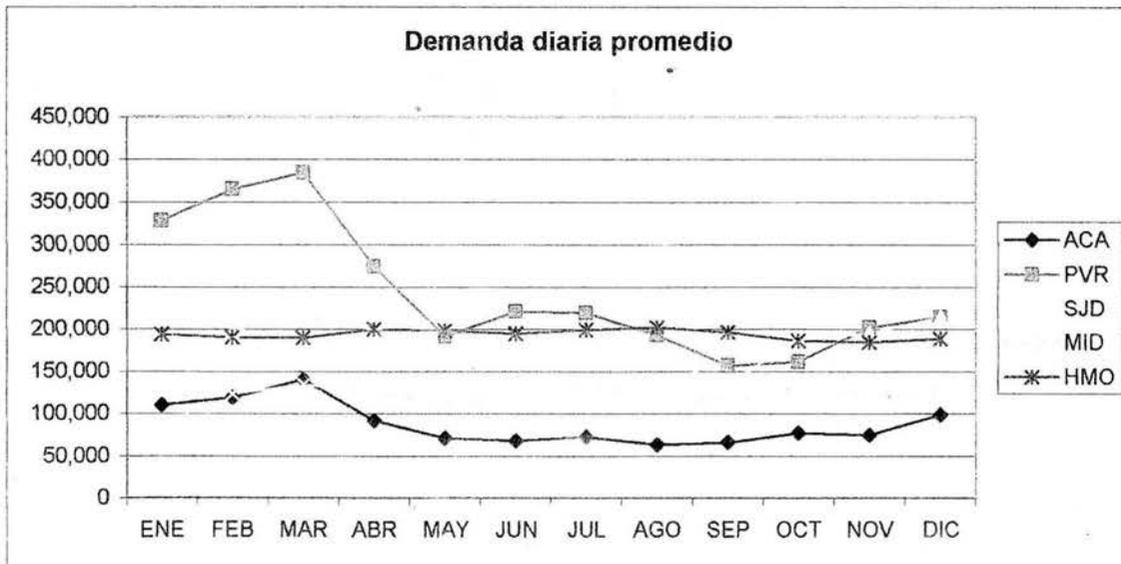


Gráfica 1.1

Fuente: Elaboración propia con datos de ASA 2003

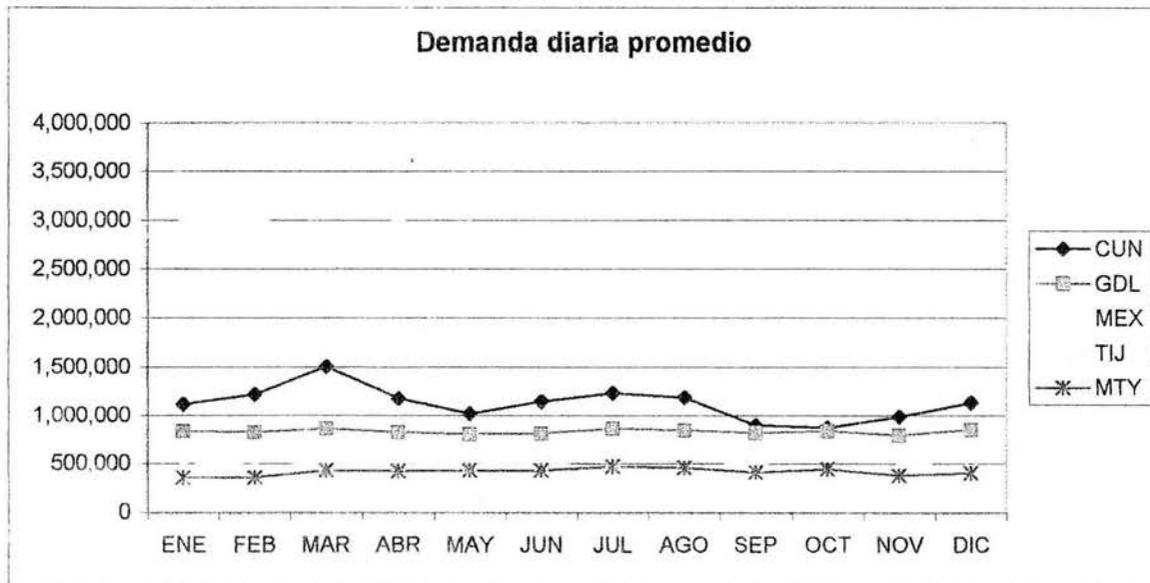
Esta es la razón por la cual este trabajo sólo se enfoca a estos aeropuertos. Las gráficas 1.2 y 1.3 muestran el comportamiento de la demanda de los 10 aeropuertos antes mencionados.

DEMANDA EN LITROS POR AEROPUERTO POR MES (2003)



Gráfica 1.2

Fuente: Elaboración propia con datos de ASA 2003

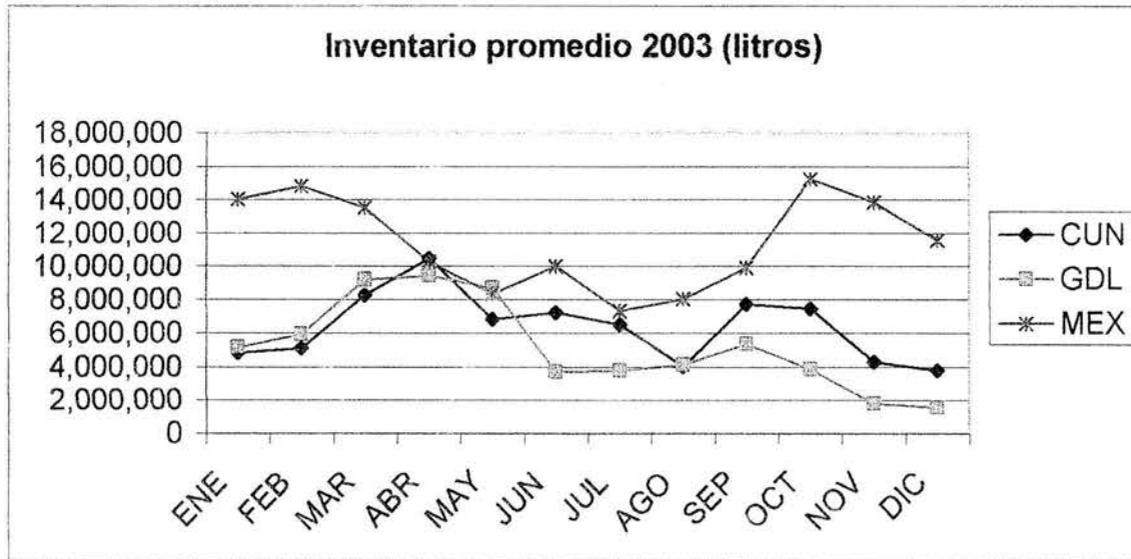


Gráfica 1.3

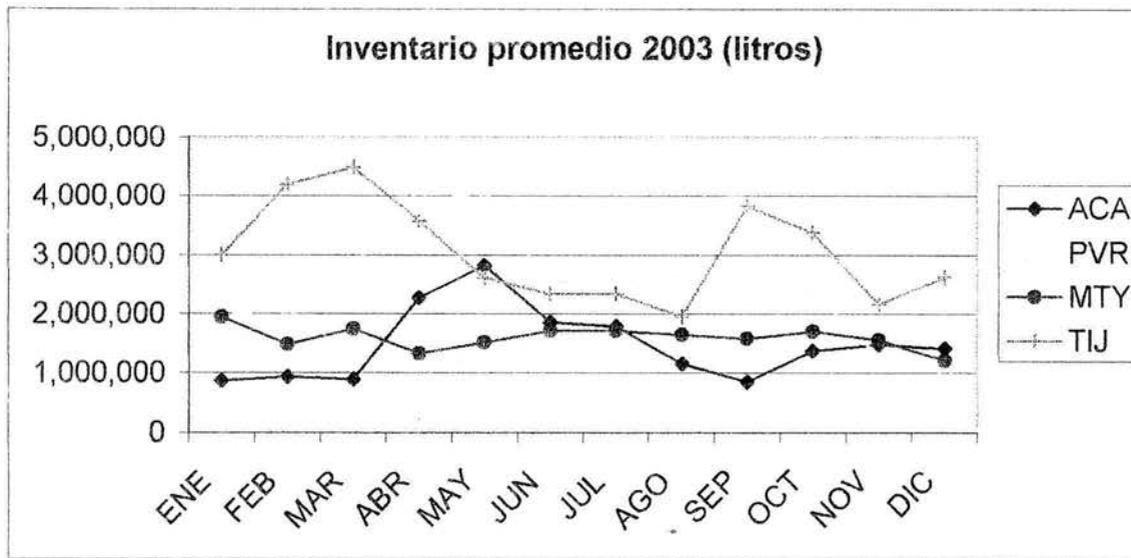
Fuente: Elaboración propia con datos de ASA 2003

Se puede observar que la demanda de estos aeropuertos, excepto Puerto Vallarta y Acapulco es prácticamente plana, es decir, no presenta grandes variaciones a lo largo del año. Esto favorece al análisis posterior. En Puerto Vallarta, Cancún y Acapulco, se presenta una demanda ligeramente mayor en los primeros tres meses del año, esto es consecuencia de la época invernal en Estados Unidos y Canadá, lo cual hace que el turismo en ese periodo aumente considerablemente, y como se puede ver, Puerto Vallarta es el más concurrido.

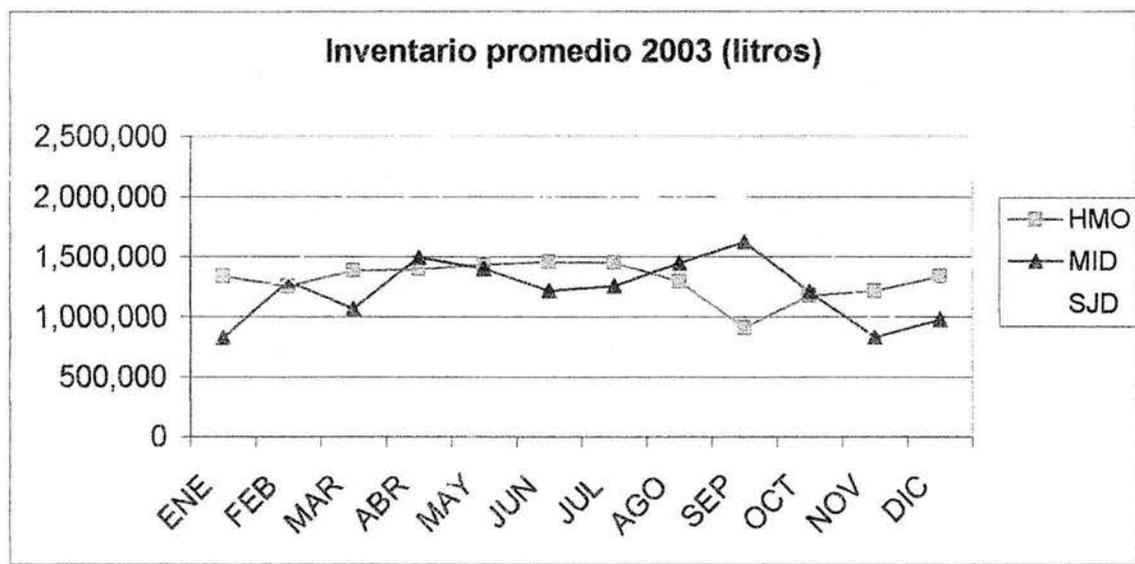
Una vez visualizado el comportamiento de la demanda, hay que ver los inventarios en cada aeropuerto. Las gráficas 1.4 y 1.5 que a continuación se presentan muestran que aunque las demandas de los aeropuertos son bastante "planas", los inventarios son altos y muy variables. En anexo I se muestran las gráficas del inventario vs. demanda por aeropuerto.



Gráfica 1.4.
 Fuente: Elaboración propia con datos de ASA 2003



Gráfica 1.5
 Fuente: Elaboración propia con datos de ASA 2003



Gráfica 1.6.

Fuente: Elaboración propia con datos de ASA 2003

Hay dos características en particular de estos inventarios, primero la variabilidad de los mismos y segundo, el tamaño. El tamaño de los inventarios se explica a partir de la falsa necesidad "creada" a lo largo de los años de tener llenos los tanques para no tener un desabasto de combustible. La variabilidad, es consecuencia de los embarques de PEMEX, que no siguen ningún patrón y que son ajenos a la programación realizada por ASA.

1.2 Programación de Embarques

La programación de los embarques como ya se mencionó, se hace en las Oficinas Generales de ASA en la Ciudad de México en la Gerencia de Combustibles. Cada día 20 del mes aproximadamente, se envían a PEMEX los requerimientos de combustible de cada uno de los aeropuertos para el siguiente mes, ejemplo, el 20 de mayo se mandan los requerimientos para el mes de junio.

El procedimiento de programación es el siguiente: Se recibe la información de existencias de cada una de las estaciones vía fax todas las mañanas. Una vez consolidada la información se calculan los requerimientos del siguiente mes (ej. junio), tomando como base las existencias, la demanda del año anterior del mes en cuestión y se ajusta con los consumos de los últimos días. Así se hace para cada aeropuerto y esto toma un día completo. Para terminar con la programación que se manda a PEMEX, se calcula el

inventario final deseado para cada estación y esto se hace con una simple regla de dedo.

Este procedimiento se realiza con calculadoras de mano en un escritorio, sin el uso de ninguna base de datos, sólo la hoja impresa de las demandas anteriores. Cabe mencionar que no hay una base de datos donde se tenga información para tomar decisiones.

Una vez mandado el reporte a PEMEX, éste último lo valida con sus programadores y lo manda con el Visto Bueno. Aquí surge un problema, como ya se mencionó, PEMEX nunca manda el combustible conforme a lo pactado en el reporte. En el anexo II se puede ver una muestra de datos que indican las diferencias entre lo pedido y lo recibido, lo cual hace que el trabajo de programación realizado durante un día completo, no se tome en cuenta.

En la gerencia de combustibles en las oficinas generales, la información recibida de cada una de las estaciones se divide por regiones. Existe una persona por región que se encarga de recibir la información para que después sea consolidada en un reporte diario de existencias. A este reporte se le da seguimiento de manera que si existe alguna urgencia de pedidos se pueda reaccionar y pedir el combustible necesario. El volumen adicional al pactado que pueda llegar a pedir ASA a PEMEX tiene un costo adicional.

1.3 Inventarios

El combustible pertenece a PEMEX hasta que cruza la brida en los tanques de almacenamiento de cada una de las estaciones de ASA. PEMEX por lo tanto es dueño de las pipas y del combustible que pudieran estar estacionadas fuera de la estación y en tránsito. Esto tiene sus ventajas y desventajas. El que ASA no sea dueño del inventario que viene en camino ayuda a disminuir la inversión del mismo, y elimina el costo por el riesgo de transporte. Por otro lado, si ASA tuviera la flotilla de auto tanques y programara la distribución de combustible, los costos por manejo pudieran bajar, esto suponiendo que no existiera ningún problema de suministro de PEMEX. Ahora, PEMEX "exige" a ASA el tener por lo menos el equivalente de 6 días de inventario para cada una de las estaciones. Esto hace que los costos por mantenerlo sean altos. Al ser ASA dueño de la distribución, podría mejorar integralmente el manejo de inventarios desde las refinerías y

centros embarcadores hasta las estaciones de combustible. Otra opción que mejoraría la cadena de suministro sería el trabajar conjuntamente con PEMEX para que la producción, programación y distribución de combustible se pueda optimizar de manera global.

Ya dentro de las estaciones de cada aeropuerto, los inventarios son monitoreados por el jefe de estación, el cual mide dos veces por día la cantidad en tanques y manda el reporte a las oficinas generales. En algunas estaciones, en las más importantes, ya existe una medición automatizada del combustible, que mide la columna de turbosina, así como la entrada de la misma a los tanques y la manda electrónicamente a un servidor.

En los aeropuertos en donde no existe una medición automatizada, es difícil asegurar la exactitud de los datos, ya que el combustible es volátil y medido a diferentes temperaturas las lecturas pueden ser distintas. La norma establece que se debe de medir a una temperatura de 20 grados centígrados. Lo anterior nos lleva al problema de no saber exactamente cuanto inventario se tiene en cada estación y esto pudiera repercutir en el nivel de servicio hacia los aviones o en la inversión en inventario sin saberla.

El costo de dejar un avión en tierra por falta de combustible es extremadamente alto, por lo que ASA no puede tener un des-abasto. Parte de la antigua cultura de la organización es la falsa necesidad de tener los tanques llenos para evitar el des-abasto de combustible. De dos años atrás a la fecha, esta idea ha ido cambiando y los inventarios han ido bajando (antes eran aún más altos de lo que son ahora), cabe mencionar que lo han hecho de manera totalmente empírica, es decir, sin ayuda de ningún modelo matemático para calcularlos.

1.4 Análisis FODA

Ya se planteó parte de la problemática que se presenta en la Subdirección de Operaciones, ahora, para poder darle solución, se realizó un análisis FODA para que a partir del mismo se puedan derivar algunas estrategias a seguir para hacer más eficientes los procesos que ahí se llevan acabo.

Fortalezas

- Se tiene mucha infraestructura de buena calidad en varias estaciones de combustible en el país.
- La operación del combustible es muy rentable, lo que ayuda a tener ingresos para proyectos de mejora.
- Existe gente capaz dentro de la Subdirección de Operaciones que puede ayudar a mejorar los procesos.

Oportunidades

- Hay muchos proyectos en los que se podría trabajar para mejorar la productividad de la Subdirección. Desde proyectos de mantenimiento hasta de distribución y abastecimiento de combustible.
- Existe la oportunidad de incorporar gente con altos niveles educativos y con ganas de mejorar procesos, para que la dependencia sea más competitiva.

Debilidades

- Así como existe gente capaz, existen también personas con una cultura organizacional antigua, lo que hace difícil que el personal adopte los proyectos de mejora.
- Como toda institución gubernamental, el personal que lleva laborando ahí muchos años, no tiene una visión muy lejana de en lo que puede convertirse ASA. Además el sindicato hace complicados los cambios organizacionales y operacionales.
- No existe una medición automatizada de las existencias de combustible en todas las estaciones del país. Esto provoca errores en los cálculos de inventarios y de requerimientos, que pudieran ocasionar un des-abasto o un exceso de inversión en inventario.
- Al no tener una medición automática en todos los aeropuertos y al ser tan volátil el combustible, se da el caso en que se registra menos combustible y que la diferencia puede llegar a venderse por otro lado.
- El contrato que tiene ASA con PEMEX no ayuda en gran manera a ASA, ya que existen ciertas condiciones que a PEMEX le conviene para manejar su distribución de manera más holgada. Un ejemplo es el inventario mínimo de 6 días en cada aeropuerto.

- La distribución de PEMEX de la turbosina no tiene mucha semejanza a lo programado por ASA con un mes de anticipación. Esto hace que el trabajo de los programadores, tan tardado, agregue poco valor.
- El manejo de la información que se tiene en todo el país de las existencias es muy pobre. No hay una base de datos con la información consolidada de demanda o inventarios. No se tiene en red a todas las estaciones para poder tener toda la información necesaria de manera electrónica.
- Los procedimientos utilizados hasta la fecha para realizar la programación de embarque son muy rudimentarios y totalmente empíricos.

Amenazas

- Existen estaciones de combustible que necesitan de una modernización de infraestructura por cuestiones de mantenimiento e inclusive de seguridad.
- El único proveedor de combustible es PEMEX, así de ASA está prácticamente con las manos amarradas.

A partir del análisis FODA, se pueden obtener algunas estrategias a seguir para mejorar los procedimientos.

Estrategias

1. Negociar un cambio en el contrato de compra de combustible con PEMEX, sustentando porque no es conveniente tener tanto inventario en los tanques. Este cambio debe de buscar una relación gana-gana entre proveedor y cliente.
2. Instalación de medidores automatizados que manden la lectura a un servidor para que ésta sea enviada al servidor central en las oficinas generales de ASA. Así, el seguimiento de las existencias no será tan costoso en tiempo y en errores.
3. Realizar un programa que haga la tarea de programación de embarques mucho más sencilla y menos tardada.
4. Tener mejor control de los inventarios, optimización de los mismos y control en cuanto a existencias.

1.5 Propuesta

Una vez expuestas algunas de las estrategias de se deben seguir para mejorar las operaciones de la Subdirección de Operaciones, se da cabida a la propuesta objeto de esta tesis.

Para mejorar la eficiencia de la gerencia de combustibles, es importante que el procedimiento de programación se realice de manera distinta, esto para evitar tanto tiempo invertido y poder utilizarlo en otros proyectos. No se puede tener una operación de primer mundo si cosas tan básicas como la programación de embarques se hacen a mano. La política de inventarios debe ser una que ayude a minimizar la inversión en el mismo. Aunque el costo de capital de la empresa sea muy bajo, por ser una institución gubernamental, muchos miles de litros suman una importante cantidad de dinero.

La propuesta que se ofrece es un programa en un software amigable que haga la programación de los embarques y al mismo tiempo calcule los inventarios óptimos para cada uno de los aeropuertos. El objetivo es que el usuario apriete un botón después de alimentar datos básicos cambiantes como el precio de la turbosina, y de ahí que se calculen los embarques e inventarios de cada aeropuerto. Ya con la base de datos lista, la tarea de programar no tomará más de 5 minutos.

Los beneficios que obtendría la Subdirección de Operaciones son no sólo el de disminuir el tiempo invertido en la tarea de programar, sino también el ahorro en dinero por la disminución del inventario, y la simplificación administrativa que requiere el seguimiento de la programación. Este trabajo sólo es una propuesta para el comienzo de las mejoras que se pudieran hacer al proceso, las demás se mencionarán en las recomendaciones al final del trabajo.

Capítulo 2

Instrumentos de Análisis

En este capítulo se habla de los instrumentos de análisis para la solución del problema de embarques definido en el capítulo anterior. Primero, se describe la manera en como operan algunas de las productoras de combustible en el mundo junto con los aeropuertos a los cuales les surten. Segundo, una revisión de la literatura existente para la solución de problemas similares. Y por último, la descripción de las técnicas que se utilizaron para el problema ASA-PEMEX.

2.1 Distribución de combustible a nivel internacional

En el capítulo anterior se explica la manera como se programan los embarques de combustible dentro de la República Mexicana para todos los aeropuertos dentro de la misma. PEMEX es el productor y proveedor de ASA y ASA sirve como intermediario entre PEMEX y las aerolíneas para vender el producto.

En el ámbito internacional, los principales proveedores del servicio de suministro de combustible son Exxon Mobil Aviation, que ocupa el primer lugar con el 18.4% de participación de mercado, seguido por Shell (13.5%), Air BP (13.4%) y Chevron Texaco (8.8%)¹ (Figura 2.1)

¹ Ambrust Aviation Group Fact Book & Directory 2002.

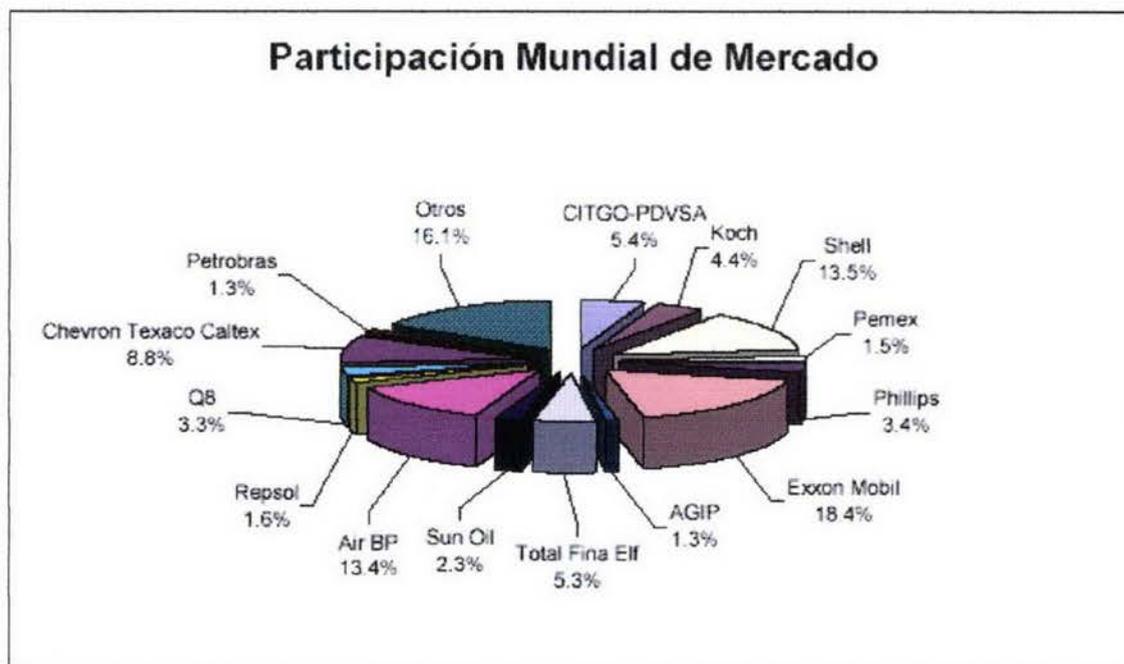


Figura 2.1 Armbrust Aviation Group Fact Book, 2002.

De acuerdo con el reporte Armbrust del 2002, PEMEX ocupó el lugar número 18 con una venta diaria de aproximadamente 9.54 millones de litros, es decir, el 1.5% de participación.

A continuación, se presenta una descripción de los cuatro principales productores y prestadores del servicio de suministro de combustible de aviación en el mundo, que representan el 54.1% del mercado total.

Exxon

Tiene sus oficinas generales en el Reino Unido, donde se lleva el control de todas las ventas y envíos de combustible de aviación en aproximadamente 700 aeropuertos alrededor del mundo.

El grupo cuenta además con 6 oficinas regionales y cada una de ellas tiene varios equipos que a través de una red de información interna le da la facultad y la autoridad para tomar decisiones. Una de las estrategias de ExxonMobil para satisfacer las necesidades de abastecimiento de combustible de sus clientes es la de mantener niveles óptimos de inventario en las estaciones de combustible. Esto lo logra a través de una estrecha coordinación entre las oficinas regionales, sus refinerías y sus redes de suministro ubicadas en todo el mundo. El personal de operaciones no sólo es responsable de suministrar el combustible a la aeronave sino también de verificar la satisfacción del cliente en cada servicio atendido.

Shell

Forma parte del "The Royal Dutch Shell Group", en materia de combustibles de aviación, Shell tiene presencia en 90 países y presta servicios de manejo y suministro de combustible en aproximadamente 800 aeropuertos en los que se incluye Latinoamérica y el Caribe, ya sea individualmente o mediante alianzas (joint-ventures) con otras empresas del ramo.

Air BP

Es la división del grupo inglés British Petroleum (BP), encargado del suministro de combustibles y lubricantes para la aviación. Actualmente está presente en alrededor de 1500 aeropuertos en 90 países y suministra cerca de 1.3 billones de litros de combustible de aviación anualmente que equivalen a una venta de 4.4 billones de dólares.

Chevron Texaco

Como uno de los líderes en la producción y suministro de combustible de aviación, ChevronTexaco atiende las necesidades de más de 200 aerolíneas en 350 aeropuertos a nivel mundial. Para cumplir con las necesidades en los 80 países donde tiene presencia, la empresa ha diseñado un sistema semejante al de ExxonMobil Aviation a través de oficinas regionales.

Como Exxon, Shell, Air BP y Chevron, suministran el combustible directamente a las aerolíneas, programando ellos los embarques y teniendo control de los inventarios a través de sistemas de información en línea. Con estos productores, no existe un intermediario como ASA que reciba, administre y venda el combustible a las aerolíneas. Esto lo consiguen por medio de redes de información en tiempo real que les permite saber los niveles de inventario y demandas para saber cuando y cuanto surtir.

2.2 Estado del arte

Para el tipo de sistemas mencionados arriba, existe un modelo que se llama el Problema de Ruteo del Inventario (Inventory Routing Problem, IRP). Este consiste en que el productor, en este caso de combustible, es el que tiene el control de los inventarios de sus clientes y es él quien decide cuando

mandar inventario y en que cantidades, dependiendo de las necesidades del cliente. Este tipo de manejo de inventarios se denomina como VMI (vendor managed inventory). De esta manera el cliente no tiene que invertir recursos en el manejo de sus inventarios. Kleywegt y Savelsbergh (1997) proponen un modelo de programación entera para resolverlo, en (1998) ellos mismos proponen una solución con cadenas de Markov. El IRP está diseñado para un sistema de distribución y de inventarios tipo el de las productoras de combustible arriba mencionadas, en donde ellos directamente mandan al cliente la cantidad de combustible que se requiere. Para optimizar los inventarios en toda la red se necesita mucha información en tiempo real de lo que se requiere de inventarios y lo que se tiene en el momento.

Para el caso de PEMEX-ASA, en donde ASA es el intermediario, este modelo no aplica, ya que ASA funciona como intermediario y son ellos los que administran el inventario, cuando y cuanto pedir a partir de la demanda.

El tener varios niveles de intermediarios dentro de la cadena de suministro, incrementa el efecto látigo (bullwhip effect) en los inventarios (Simchi-Levi, 2003). Este efecto se genera por la falta de información del cliente final, es decir, la demanda. El primer nivel (proveedor del cliente final), pronostica a partir de la demanda real y el siguiente nivel pronostica a partir de la demanda del nivel inferior, y así sucesivamente hasta llegar al productor, al cual le llega una demanda mayor y con mayor variabilidad. Este efecto se disminuye casi por completo con un sistema VMI, que es lo que idealmente se buscaría para el problema de embarques.

Por ser ASA un intermediario, el IRP no resuelve el problema de embarques, es así como se busca optimizar la cantidad de inventarios que se tiene con un programa adecuado de embarques. Song y Zipkin (1996) presentan un modelo de control de inventarios para después mandar la orden al proveedor por medio de cadenas de Markov. Johansen y Hill (2000) resuelven un problema de sistema de revisión periódica con tiempos de entrega constantes y con ventas perdidas por medio de iteraciones. Song y Zipkin también en (1996) analizan el efecto de variación del tiempo de entrega y del tamaño de lote.

Todos los modelos mencionados anteriormente, modelan sólo por partes el problema real de ASA. ASA lo que necesita es una manera más rápida y eficiente de hacer su programación de embarques que hoy por hoy se hace a mano, aunado a eso una política de inventarios que ayude a disminuir la inversión de los mismos.

2.3 Metodología

Para el caso de un programa que calcule los embarques minimizando los inventarios, se pensó en tres tipos de teorías para resolverlo.

La primera y más sencilla, fue simplemente utilizar la teoría de inventarios y calcular los inventarios óptimos para cada aeropuerto, la tarea de programación quedaría igual, a mano. Esto no alcanzaba las expectativas u objetivos planteados, así que se buscó la segunda alternativa.

Programación dinámica: Un ejemplo típico de la programación dinámica es exactamente encontrar el pedido óptimo para minimizar la inversión en inventario. El problema de la programación dinámica es que se resuelve de adelante para atrás. Esto es, que se busca a partir de un objetivo final los resultados de los días anteriores. En el ejemplo de los inventarios lo que se tiene es un objetivo de inventario final y de ahí se trabaja para atrás para que se cumpla con las restricciones necesarias. Para el problema de ASA, no es de mucha ayuda la programación dinámica, por el tipo de restricciones que se tienen, y no es lo mismo que el mes termine en viernes a que termine en lunes. Los domingos no se embarca ningún auto tanque de PEMEX, los sábados sólo a aeropuertos como Cancún y en eventualidades a Guadalajara o Tijuana. Es por esto que se debe de tener un inventario mayor los viernes para que la estación de combustible llegue al lunes sin ningún problema de abasto. La programación dinámica se volvería muy compleja al definir cada día último de mes con distinta prioridad, y una programación diferente se necesitaría si es viernes, sábado, domingo o cualquier otro día de la semana.

Por lo anterior, se llegó a la conclusión de que programación lineal era la técnica más adecuada para un problema relativamente sencillo. El programa lo que haría es el cálculo de los pedidos diarios al mismo tiempo que minimizaría los inventarios. La diferencia con la programación dinámica es que la lineal se puede juntar uno, dos, dos y medio meses, etc, a conveniencia del programa. No se tiene un día final en el que se quiera llegar con un determinado número de litros en inventario. Lo importante es que se mantengan en un nivel mínimo de inventarios con un nivel de servicio alto todo el tiempo, ya que el costo de tener un avión parado por falta de combustible es muy alto.

Así es como se le da entrada a la técnica de programación lineal y de teoría de inventarios para entender porqué nos sirve esta técnica para lograr el objetivo deseado del trabajo.

Programación Lineal

Dentro de las organizaciones hay veces que la toma de decisiones requiere de herramientas matemáticas que ayuden a encontrar la decisión óptima. La programación lineal es una herramienta de solución de problemas que ayuda en la toma de decisiones de cualquier tipo de organización, ésta utiliza un modelo matemático para representar el problema en cuestión. Dentro del modelo se tienen distintas variables que representan los factores en los cuales la organización tiene control. Estas variables están siempre restringidas o limitadas, por distintas circunstancias. La programación lineal lo que hace es encontrar el valor de esas variables que hagan la decisión óptima, tomando en cuenta las restricciones existentes en el sistema.

Ejemplos típicos de aplicaciones de programación lineal son:

Un problema de mezclas, en donde distintos ingredientes deben de ser mezclados para producir uno o varios productos con ciertas especificaciones. Lo que se busca es minimizar costos o maximizar las ganancias dadas por las ventas de los productos. Las variables del problema son la cantidad de ingredientes a utilizar para cada producto y las restricciones están dadas por las especificaciones del producto final y tal vez por el presupuesto para producción.

Un problema de inversión, en donde se tiene una cantidad limitada de recursos y varias opciones en las cuales se puede invertir el dinero. Lo que se busca es maximizar el retorno de la inversión. Las variables son la cantidad de dinero invertido en cada instrumento financiero, y la restricción principal es la cantidad de recursos disponibles para la inversión.

Un problema de transporte, en donde se deben de distribuir ciertas mercancías de una o varias plantas a uno o varios almacenes. Lo que se busca es minimizar los costos de transporte. Las variables son la cantidad de producto a enviar de cada origen a cada destino, sujeto a las restricciones de capacidad de los camiones, a la capacidad de la planta para producir y a la demanda que se tiene en cada destino.

Como estos ejemplos, hay infinidad de aplicaciones en la programación lineal que lo que busca es encontrar un óptimo, ya sea en minimización de costos o maximización de ganancias.

Para este trabajo, la programación de embarques es un modelo muy básico de programación lineal. Una programación de pedidos diarios minimizando los costos de pedido y los costos de mantenimiento de inventario. Las restricciones son la capacidad de los tanques de almacenamiento, la capacidad de las pipas, la capacidad de embarque de

PEMEX y por último, el día de la semana. En el capítulo 3 se muestra a detalle el modelo matemático que resuelve el problema de embarques.

Teoría de Inventarios

Para la minimización de los inventarios en las estaciones de los aeropuertos, se necesita estudiar las diferentes teorías o sistemas que existen para encontrar el que mas se asemeje a la realidad.

Existen muchos sistemas distintos de manejo de inventarios (ver Simchi-Levi 2003 y Axsäter 2000), para el caso PEMEX-ASA se estudian las dos grandes generalidades. De ahí se parte para escoger el que más se adapte a las necesidades del problema. Estos son el sistema de revisión continua y el sistema de revisión periódica. De estos dos, surgen muchas modalidades (ver Sipper y Bulfin 1997).

Revisión continua. Este sistema revisa los inventarios continuamente y establece un punto de reorden, el cual es una cantidad predeterminada que avisa que es momento de poner una orden para reabastecer el almacén, la cantidad a ordenar es fija y es calculada a partir de una fórmula de costos totales de inventarios. En pocas palabras, en el sistema de revisión continua en el momento que se llega al punto de reorden, se pide una cantidad Q^* que siempre es la misma.

Revisión Periódica. Este sistema revisa los inventarios cada determinado periodo, y a partir del inventario que se tenga, se pide una cantidad. Entonces, la cantidad a pedir aquí es variable, y el tiempo entre órdenes es fijo. La cantidad a pedir es calculada en base a un inventario objetivo que se obtiene dependiendo del nivel de servicio deseado y la variabilidad de la demanda.

$$\text{Inventario objetivo} = d(L+T) + z\sigma_{T+L}$$

en donde:

d = demanda diaria

L = media del tiempo de entrega

T = tiempo entre revisiones

z = número de desviaciones estándar a partir de la media, tomado con una distribución normal, encontrado de tablas a partir de un nivel de servicio
 σ_{T+L} = desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega

en donde:

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sigma^2(T+L) + d^2\sigma_{LT}}$$

en donde:

σ = desviación estándar de la demanda

σ_{LT} = desviación estándar del tiempo de entrega

Entonces, la cantidad a ordenar será la diferencia entre el inventario objetivo y la cantidad en almacén en ese momento.

Para nuestro caso el sistema de revisión periódica es el que mejor se acerca al comportamiento de nuestro problema. Esto es porque un sistema de revisión continua como su nombre lo dice tiene monitoreados los inventarios continuamente, para esto se requiere una automatización mucho mayor, para que se llegue al punto de reorden y se mande el pedido. Esto no solamente requiere de infraestructura electrónica, sino que también una liga de comunicación con PEMEX, para que los pedidos se den a tiempo.

En este momento, el modelo que más se asemeja al sistema es el de revisión periódica, esto es porque una vez por día se monitorean las existencias de combustible en todo el país. Este es como el periodo de revisión. El programa lo que hace es pedir un embarque dependiendo de la cantidad de inventario que se tenga en existencia. Este modelo sólo se utiliza para encontrar el inventario objetivo necesario en cada estación y los inventarios de seguridad. Esta información es alimentada al programa de programación lineal que calcula los pedidos.

En el capítulo tercero se explican los supuestos del modelo, cómo es el comportamiento de la demanda que hace que se tengan los inventarios que se tienen, y cómo se calculan los mismos.

Capítulo 3

Desarrollo del Modelo

En este capítulo se desarrolla el modelo matemático con el cual se propone resolver el problema de programación de embarques. Es un modelo de programación lineal que minimiza los inventarios en mano, mientras resuelve el problema de programación de embarques. Aquí se dan a conocer todos los supuestos que se tomaron en cuenta para el desarrollo del mismo así como otras técnicas como pronósticos que se utilizaron para dar soporte a la programación.

3.1 Modelo

El modelo utilizado es un modelo simple de inventarios resuelto con programación lineal, en donde se busca minimizar el costo por mantener el inventario y por pedir los embarques. Esto sujeto a la restricción de capacidad de los tanques de almacenamiento, así como la capacidad de embarque de PEMEX. Se tiene también restricción en inventarios mínimos para evitar faltantes, ya que el costo por tenerlos es sumamente alto.

El modelo es como sigue:

Variables:

I_t = Inventario en el día t

X_t = Numero de litros pedidos en el día t

C_i = costo del inventario por litro por día

C_x = costo por pedir un embarque (precio \times litro)

d_t = demanda diaria en el día t

Cap = capacidad de embarque de PEMEX

inv min = inventario mínimo requerido excepto para viernes

inv min viernes = inventario mínimo requerido para los días viernes

tan = capacidad de tanques de almacenamiento

Función objetivo:

$$\min \sum_{t=1}^{35} (C_i I_t + C_x X_t)$$

sujeto a

balance de inventarios:

$$I_t = I_{t-1} + X_t - d_t \quad \text{para } t= 1,2,\dots,35$$

capacidad de embarque:

$$X_t \leq Cap \quad \text{para } t= 1,2,\dots,35$$

inventario de seguridad:

$$I_t \geq inv \text{ min}$$

$$I_{t'} \geq inv \text{ min viernes}$$

t' = número de día que corresponde al viernes

capacidad de almacenamiento:

$$I_t \leq tan$$

Los meses tienen entre 28 y 31 días, se tomaron 35 días en cada corrida, porque se quiere que el programa no termine el último día del mes. Si lo hiciera, al estar minimizando costos, el programa buscaría no tener inventarios para los últimos días del mes y eso tendría consecuencias para el principio del mes siguiente. Así, el inventario al final del día del mes y no el último de cada corrida, será el inicio para la corrida del mes siguiente. En la hoja de resultados la programación de embarques toma solamente los primeros 28, 30 o 31 días dependiendo del mes.

La capacidad de embarque de PEMEX se supone prácticamente ilimitada, es decir, que tiene suficiente capacidad para embarcar toda la demanda de los aeropuertos en cada mes. El número de litros recibidos diarios puesto como restricción es de 2'000,000 para cada aeropuerto. La capacidad de almacenamiento de cada aeropuerto se puede ver en el anexo 2 de inventarios mínimos.

El precio por litro es una variable que cambia cada martes, y es determinada internacionalmente. Por ello es que en el programa es un dato que se alimenta antes de correrlo. El costo por mantener el inventario, es calculado por el precio del litro y el costo del dinero que tiene ASA, es decir, el dinero que estaría obteniendo ASA por tener ese dinero invertido en papel gubernamental, en vez de en inventarios.

En el anexo 3 se muestra una impresión de la hoja de los modelos para cada aeropuerto, donde se pueden ver las restricciones para cada uno de ellos.

El programa no permite faltantes, ya que el costo de mantener un avión parado por falta de combustible es excesivamente alto (oficio 61/00067/03 de ASA), así que se puso la restricción del inventario mínimo, calculado como inventario de seguridad en un sistema de revisión periódica con un tiempo de revisión de 1 día. El nivel de servicio de ciclo es del 90%, justificado por el oficio antes mencionado.

Para artículos con demandas altas y con periodos largos (un año), el proceso se aproxima a un proceso normalmente distribuido, por eso es común utilizar una distribución normal con media μ y desviación estándar σ para modelar la demanda a través del tiempo. (ver Axsäter, 2000 y Browne and Zipkin 1991)

$$invseg = z\sigma_{T+L}$$

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sigma^2(T+L) + d^2\sigma_{LT}}$$

donde:

z = número de desviaciones estándar a partir de la media, tomado con una distribución normal, encontrado de tablas a partir de un nivel de servicio

σ_{T+L} = desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega

σ = desviación estándar de la demanda

σ_{LT} = desviación estándar del tiempo de entrega

Además de la variabilidad en la demanda y la variabilidad en el tiempo de entrega, existe otra variabilidad que es difícil encontrar en los libros, Song y Zipkin (1996) consideran imprevistos en las entregas, pero no exactamente una variabilidad en todas las entregas. Esta es la diferencia entre lo pedido en la programación a PEMEX, y lo realmente recibido, como se había mencionado anteriormente, esto se muestra en el anexo 1.

Para adecuar el modelo a esta situación, lo que se hizo fue obtener la diferencia entre lo recibido y lo pedido, y obtener una proporción de esta diferencia con la media de la demanda diaria para cada aeropuerto, es decir, la diferencia promedio en embarques diaria dividida entre la demanda promedio diaria. Ej.: En Acapulco la demanda diaria promedio en octubre 2003 es de 59,000 litros, los pedidos varían entre los 50 y los 120 mil litros. La diferencia entre lo recibido y lo pedido puede estar entre los -65,000 a los 130,000 litros. El promedio la diferencia absoluta de los embarques para ese mes es de 75,000 litros, es decir que la proporción será de 1.27. Para el caso de Acapulco, la proporción promedio de la diferencia de embarques y la demanda es de 0.94. El valor es positivo porque para poder cubrirse mejor por un des abasto, se tomó en cuenta el valor absoluto de las diferencias. Los datos para obtener estos índices se tomaron para todo el año 2003 y se encuentran en el anexo IV.

Este índice se tomó como referencia para introducirlo al inventario de seguridad. Entonces el inventario mínimo se convirtió en:

$$\text{Inv min} = z\sigma_{T+L} + \text{promediodelademandadiaria} * \text{indice}$$

De esta forma al inventario mínimo se le suma la proporción de demanda diaria que en promedio PEMEX deja de mandar o manda de más.

En el modelo de inventario de seguridad, no se puede simplemente aumentar un término que tenga la varianza de las entregas. La justificación para incorporar el término de variación en el tiempo de entrega es muy compleja², por facilidad en cálculos, se introdujo el índice y se multiplicó por le para aumentarle el riesgo por variabilidad en las entregas.

Los domingos no se embarca ningún auto tanque de PEMEX a las estaciones, y los sábados sólo a aeropuertos grandes como Cancún. Es por ello que el viernes la cantidad de inventario requerido para cubrir el fin de semana es por política de la empresa, de 6 días de inventario. Así que el inventario mínimo del viernes se calcula con un tiempo de entrega de 4 días con desviación estándar de medio día. En el anexo 4 se muestran los cálculos de los inventarios mínimos de los aeropuertos.

Para los demás días, el tiempo de entrega es de dos días con desviación estándar de medio día, con tiempo de revisión de 1 día.

² Ver Sven Axsäter, Inventory Control, 2000

Información de las demandas

La tabla 3.1 muestra la demanda diaria de los 9 aeropuertos en cuestión, con su media, desviación estándar y coeficiente de variación. Estos datos son de la demanda del año 2003.

	ACA	CUN	GDL	HMO	MID	MTY	PVR	SJD	TIJ
demanda media diaria	86,753	1,255,482	828,534	169,987	127,346	453,681	226,279	185,371	528,061
desviación estándar	52,534	345,520	70,806	53,593	22,843	64,261	132,437	54,923	60,456
coeficiente de variación	0.61	0.28	0.09	0.32	0.18	0.14	0.59	0.30	0.11
inventario promedio	1,483,063	6,356,235	5,204,327	1,305,771	1,219,218	1,593,733	2,501,756	1,741,075	3,027,910
días de inventario	17.10	5.06	6.28	7.68	9.57	3.51	11.06	9.39	5.73

Tabla 3.1 Demanda media diaria 2003

Bajo el supuesto que la demanda se distribuye normalmente, se tiene además que el coeficiente de variación es menor a 0.3 (ver Muckstadt et al, 2001) en todos los aeropuertos excepto en Acapulco y Puerto Vallarta que son los únicos que tienen un coeficiente de variación mayor a 0.3. En el anexo IV, se muestran los histogramas de los aeropuertos, tomados de los datos del año 2003. Para el caso de Acapulco y Puerto Vallarta, se encuentra que la demanda se distribuye conforme Poisson, así que para obtener los inventarios de seguridad, se toma la siguiente fórmula:

$$p(r) = \text{prob}(\text{demanda durante el tiempo de entrega} = r) = \frac{\theta^r e^{-\theta}}{r!}$$

$$G(r) = \sum_{k=0}^r \frac{\theta^k e^{-\theta}}{k!}$$

en donde $G(r)$ es la fracción de la demanda que se satisface al momento (fill rate) ver Hopp W. 1996

Por lo tanto, el inventario de seguridad para estos aeropuertos se calcula como:

$$\text{Inv seg} = r - \theta$$

en donde $\theta =$ demanda durante el tiempo de entrega

y $r =$ nivel de inventario necesario para un nivel de servicio dado. (ver Hopp W. 1996)

Esta información es importante para encontrar los niveles de inventario adecuados, así como para los pronósticos que se realizan mes con mes.

Ejemplo: Formulación matemática para el caso Acapulco

Función objetivo

$$\min \sum_{t=1}^{35} (C_i I_t + C_x X_t)$$

sujeto a

balance de inventarios:

$$I_t = I_{t-1} + X_t - d_t \quad \text{para } t = 1, 2, \dots, 35$$

capacidad de embarque:

$$X_t \leq 2,000,000 \quad \text{litros para } t = 1, 2, \dots, 35$$

inventario de seguridad:

$$I_t \geq 200,000 \quad \text{litros}$$

$$I_{t'} \geq 600,000 \quad \text{litros}$$

t' = número de día que corresponde al viernes

capacidad de almacenamiento:

$$I_t \leq 6,000,000 \quad \text{litros}$$

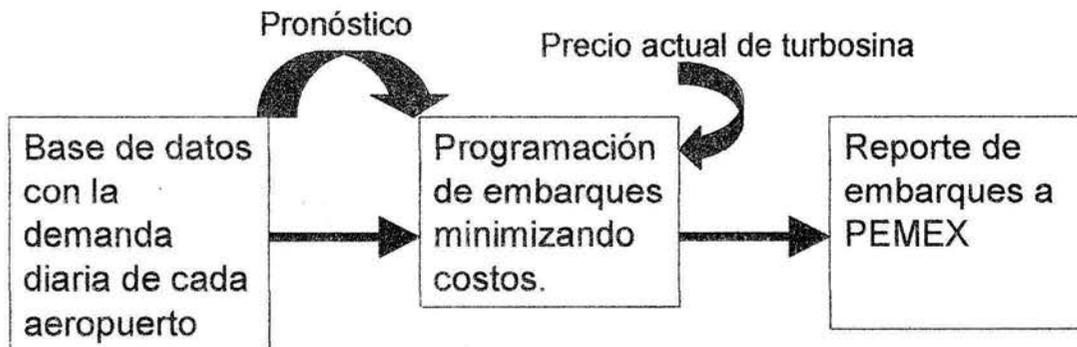
En la hoja de cálculo, no se puede, por cuestiones de escalamiento, utilizar todos los ceros en las ecuaciones. Ni el LINDO y el Excel son capaces de iterar con números tan grandes, así que el modelo está escalado en 100,000, es decir, todos los números están divididos entre 100,000 para que el programa pueda encontrar el óptimo.

SOFTWARE

El software para resolver el problema fue Excel, esto porque es más fácil que el usuario esté familiarizado con la hoja de cálculo, que con un software como LINDO. Este problema en Excel al igual que en LINDO, tiene que ser escalado porque sino le cuesta trabajo converger a una solución, sale una nota en donde dice que el problema es demasiado grande para Solver. Todos los datos dentro del modelo están escalados en 100,000, es decir, si la demanda para Cancún en un día es de 1' 200,000 litros, el programa tiene 1.2.

Para tener una solución fácil de usar, se necesita de tres partes: la primera es una base de datos con las demandas diarias de cada aeropuerto y un pronóstico, para que esto sea una de las entradas para el modelo, más adelante en el capítulo se explica con detalle la técnica de pronóstico utilizada. La segunda parte es el modelo, en donde a partir de la demanda y el precio del combustible, se corra para crear la última parte que será el reporte para mandar a PEMEX.

El usuario lo único que necesitará hacer es alimentar el precio del combustible que cambia cada martes, definir el inventario inicial esperado, que es el final del mes anterior, y correr el programa. Hecho esto se generará el consolidado de los embarques diarios para cada aeropuerto. En la figura 3.1, se muestra de manera gráfica como funciona el programa.



BASE DE DATOS
Demanda diaria por aeropuerto por mes

PROGRAMACIÓN
Alimentado por los datos de demanda y el precio de la turbosina, se obtiene la programación de los aeropuertos

REPORTES
Reporte listo para enviar a PEMEX

Figura 3.1 Esquema gráfico del programa

El programa en Excel resuelve la programación de embarques con el uso del Solver para minimizar los costos, además el programa tiene unas Macro en Visual Basic para que sea más amigable para el usuario y para poner candados para que el mismo usuario no cambie los parámetros del programa. El siguiente cuadro muestra una parte de la hoja en donde se obtiene la programación. El usuario le da clic en el botón correspondiente a cada aeropuerto y se corre la Macro, que consiste en resolver el problema de embarques del aeropuerto en cuestión, y regresa el resultado a la hoja con el número de auto tanques que se deben embarcar al destino. En el anexo 3, se muestra el código en Visual Basic del programa, así como los formatos de las hojas en donde se alimentan los datos y se obtienen los resultados.

	Octubre 2003									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie
ACAPULCO	0	0	9	0	0	0	0	0	0	13
CANCUN	8	48	48	48	0	0	0	28	48	48
GUADALAJARA	0	32	48	0	0	0	0	46	48	48

Figura 3.2 Fragmento del formato de programación que se manda a PEMEX (Ver anexo 1)

El programa tiene tres tipos de hojas, la primera es la hoja de DATOS, en donde se alimenta la información necesaria, precio de la turbosina, demanda obtenida del pronóstico, e inventario inicial. La segunda hoja es la de PROG de EMBARQUES, que es en donde se arrojan los resultados de la programación, es esta hoja la que se imprime y se manda a PEMEX, y es aquí en donde se le da clic a los botones para correr las Macros. La muestra de la hoja se muestra en la figura 3.2. En esta hoja está la programación de los Macros en Visual Basic con el código de cada Macro, ver anexo 3.

El tercer tipo de hoja, es en donde se encuentra el modelo de programación lineal para cada aeropuerto, es decir, existe una hoja con su programación para cada aeropuerto. Estas hojas tienen una protección para que el usuario no pueda acceder al código y no cambie los parámetros del modelo. (ver anexo III)

Pronósticos

Con una base de datos de la demanda del 2002 y 2003, inventarios y embarques, se puede obtener el pronóstico de la demanda para los siguientes meses. Aunque la demanda ya es prácticamente conocida por ser la mayoría de los vuelos comerciales y ya programados, el programa se alimenta de un pronóstico de la demanda.

El modelo de pronósticos utilizado fue uno muy sencillo, suavización exponencial con estacionalidad. Se utilizó este modelo, ya que la demanda no presenta un comportamiento lo suficientemente complejo como para utilizar un pronóstico más elaborado.

El modelo es el que sigue:

$F_{T+k} = (S_T)(C_{T+k-gL})$ el pronóstico para el siguiente k periodo a partir de hoy

donde:

d_t = demanda en periodo t

L = número de estaciones por año (meses)

T = número de periodos de datos disponibles

S_t = el valor suavizado

C_t = el estimado del componente de estacionalidad

Y donde:

$$S_T = \alpha \left(\frac{d_T}{C_{T-L}} \right) + (1 - \alpha) S_{T-1}$$

$$C_t = \frac{d_t}{\bar{D}}$$

y \bar{D} es el promedio de la demanda en el ciclo L.

y α = constante de suavización tomada como 0.3, ya que se necesita responder rápidamente a cualquier cambio en la demanda, en especial en aeropuertos como PVR, ACA y CUN.

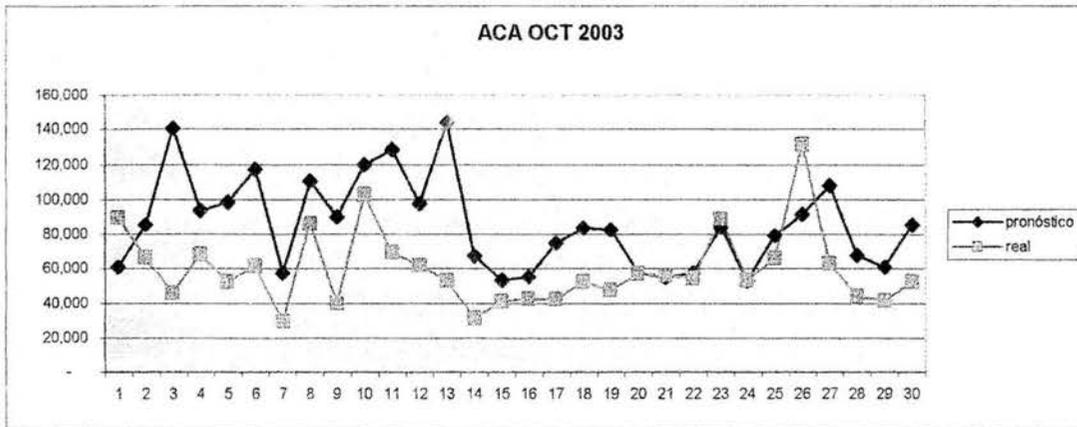


Figura 3.3 Pronóstico del mes de octubre 2003 para Acapulco

Y así es como se obtiene el pronóstico mensual del año, que es calculado con los datos del mes en cuestión del año anterior y el dato del mes inmediato anterior al que se está calculando. En el anexo 3 se muestran los pronósticos de los demás aeropuertos.

Ahora, el pronóstico obtenido es mensual, y lo que el modelo necesita es un pronóstico diario. Se tomó entonces el pronóstico mensual obtenido y se hizo una ponderación con respecto al comportamiento diario del mes anterior, es decir, si se obtuvo 100,000 litros al mes de pronóstico, este se multiplicó por el índice de estacionalidad, pero tomada diariamente:

$$C_d = \frac{d_d}{\bar{D}_d}$$

donde

C_d = es el índice de estacionalidad diario

d_d = es la demanda diaria

\bar{D}_d = es la media de la demanda diaria

3.2 Semejanza con la realidad y supuestos

Cualquier modelo matemático que se haga no puede representar al 100% lo que sucede en la realidad, y esto es porque existen ciertas aleatoriedades que son imposibles de modelar. Pero dependiendo del problema y que tan profundo se quiera realizar el análisis, es el modelo que se debe usar, y lo cercano a la realidad que se puede llegar.

Para este caso, como en la realidad lo que se hace son sólo simples cálculos empíricos, el modelo propuesto no sólo asemeja el real, sino que lo

mejora. Por supuesto que a éste todavía se le pueden hacer modificaciones para que sea más complejo y exacto, pero este modelo cumple con las necesidades actuales de mejorar el proceso de programación de embarques.

Supuestos.

Uno de los mayores supuestos que se están utilizando en el modelo es que no se va a tener la opción de poner volumen adicional. La cantidad de veces que se pidió volumen adicional el año pasado fue menor a diez veces, por lo tanto al manejarse de mejor manera los inventarios, la probabilidad de tener un caso de volumen adicional es remoto. Otro supuesto es que no existen faltantes, el modelo está diseñado para que siempre haya un inventario mínimo.

Supone que PEMEX puede distribuir todo el combustible que se le pida. No hay ninguna información que nos diga lo contrario.

La semejanza con la realidad la podemos ver en la validación que se realizó para los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2003, esto se muestra en el capítulo siguiente.

Resultados

Se corrió el modelo de los nueve aeropuertos ACA, CUN, GDL, HMO, MID, MTY, PVR, SJD y TIJ para los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre del 2003, de manera que se pudiera validar con lo que realmente sucedió en esos meses. Se compararon los resultados obtenidos en el modelo con los niveles reales de inventarios para los mismos meses. El aeropuerto de la Ciudad de México no se metió dentro del modelo, ya que como se mencionó anteriormente, el abasto de combustible se realiza por medio de turbosino ductos, los cuales vienen directamente de la refinería de Atzacapozalco. Por lo tanto la programación de auto tanques no aplica a la Ciudad de México.

Al hacer el análisis de resultados, se ve una disminución importante de inventarios promedio en los aeropuertos, además de tener la ventaja que la programación es mucho más rápida.

Resultados

La tabla 4.1 muestra el comparativo en inventarios obtenidos en el modelo y los de la realidad para el periodo Oct-Dic 2003.

	demanda	EN PROGRAMA	
		inv promedio diario	días de inv
CUN	1,183,119	6,230,510	- 5.3
GDL	831,842	3,066,050	3.7
ACA	74,738	353,532	4.7
PVR	213,274	968,507	4.5
MTY	467,831	1,576,045	3.4
SJD	194,756	558,011	2.9
MID	126,354	408,263	3.2
TIJ	515,973	1,727,497	3.3
HMO	155,418	588,846	3.8
		promedio	3.9

Tabla 4.1 Comparativo inventarios modelo vs. real

	REAL		diferencia	\$\$\$\$ ahorro
	inv promedio diario	días de inv		
CUN	5,193,958	4.4	(1,036,552)	\$ (2,933,441)
GDL	2,420,631	2.9	(645,419)	\$ (1,826,536)
ACA	1,409,478	18.9	1,055,946	\$ 2,988,328
PVR	1,591,335	7.5	622,828	\$ 1,762,603
MTY	1,491,795	3.2	(84,251)	\$ (238,429)
SJD	1,626,548	8.4	1,068,537	\$ 3,023,960
MID	1,034,715	8.2	626,451	\$ 1,772,857
TIJ	2,724,376	5.3	996,879	\$ 2,821,169
HMO	1,242,237	8.0	653,391	\$ 1,849,096
		7.40		\$ 9,219,607

Tabla 4.1 cont.

El inventario promedio de los aeropuertos en el periodo fue de 7.4 días de inventario, mientras que con el modelo sería de 3.9 días. Esto ya cumple con todas las restricciones requeridas por ASA. Sólo en este periodo de tiempo, el ahorro en dinero es de \$ 9,219,607 pesos diarios. Este dinero representa el 17% de la inversión en inventario en estos tres meses. Esto calculado con el costo de la turbosina por la cantidad de inventario que se ahorraría. El no tener ese dinero invertido en combustible, pudiera ayudar a realizar proyectos de mejora, o simplemente obtener intereses al invertirlo en papel gubernamental.

El resultado del modelo de Cancún, Guadalajara y Monterrey, muestra un aumento en vez de disminución en inventarios promedio. Esto se explica porque existen algunos sistemas de inventarios como tiendas de abarrotes pequeñas, en las cuales no se lleva ningún control conocido de inventarios, es decir, que empíricamente manejan el inventario en su empresa, y así a través del tiempo, han obtenido resultados favorables. Este es el caso entrecomillado de estos aeropuertos, tienen niveles bajos de inventarios, pero que no les favorecen en mucho, ya que se acercan demasiado al desabasto (ver fig 4.2, 4.3, 4.6). De hecho, en Puerto Vallarta a finales del 2003 existe un desabasto (ver fig 4.8) en el que tienen que emitir un aviso a las aerolíneas diciendo que no hay combustible, esto a causa del manejo deficiente de inventarios. Además se puede ver en las mismas gráficas, que la política que llevan no se apega a los requerimientos de ASA y PEMEX de 6 días de inventario. El modelo lo que arroja es la misma política para todos los aeropuertos, con datos estadísticos de comportamientos de las demandas como base para los cálculos.

El comportamiento de los inventarios con respecto a la demanda se muestra para cada aeropuerto para el periodo mencionado en las figuras siguientes, el inventario en programa es el resultado arrojado por el modelo.

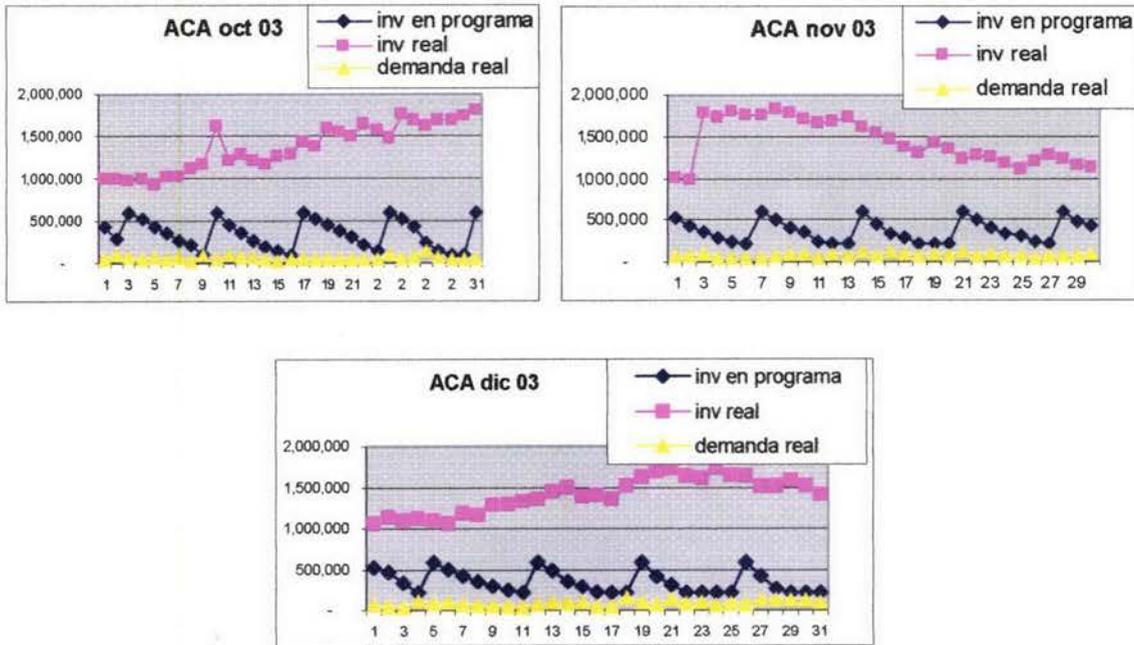


Fig. 4.1 Resultados Acapulco Octubre - Diciembre 2003

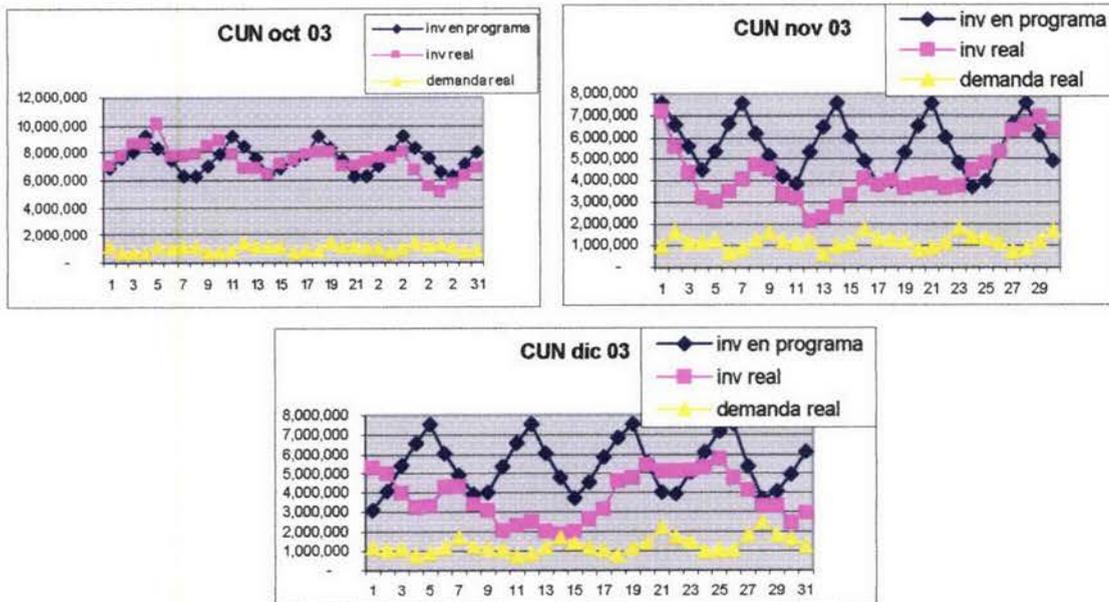


Fig. 4.2 Resultados Cancun Octubre-Diciembre 2003

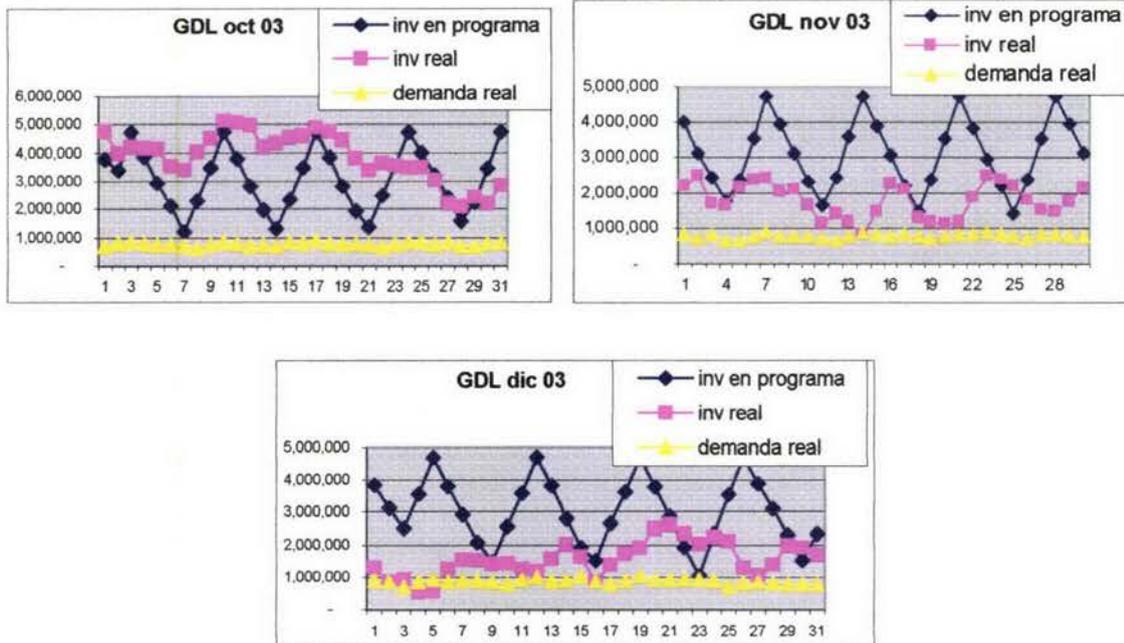


Fig. 4.3 Resultados Guadalajara Octubre-Diciembre 2003

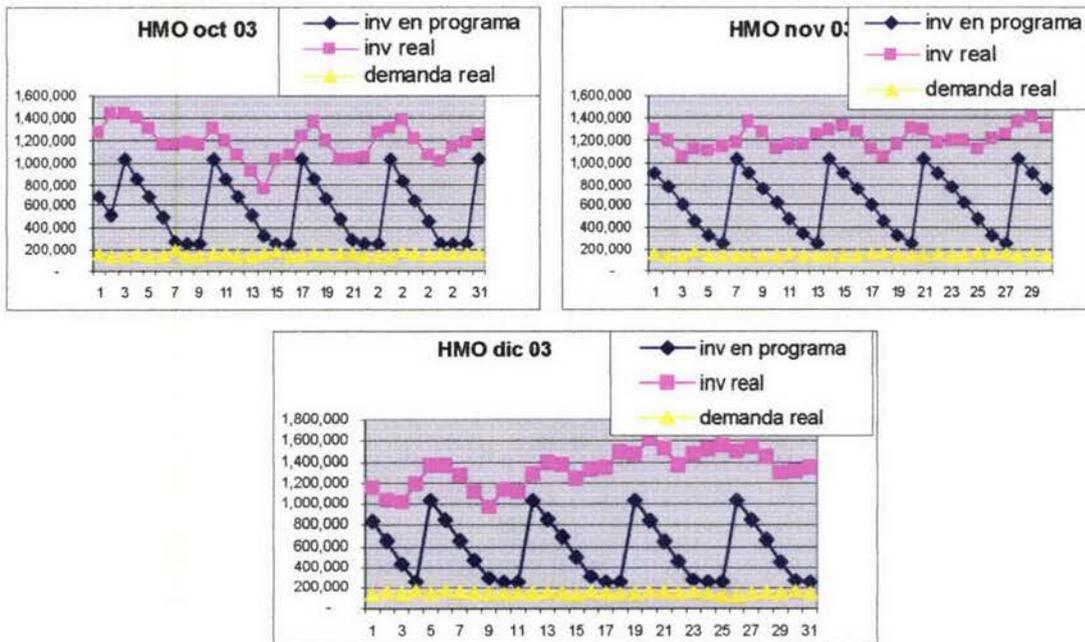


Fig. 4.4 Resultados Hermosillo Octubre-Diciembre 2003

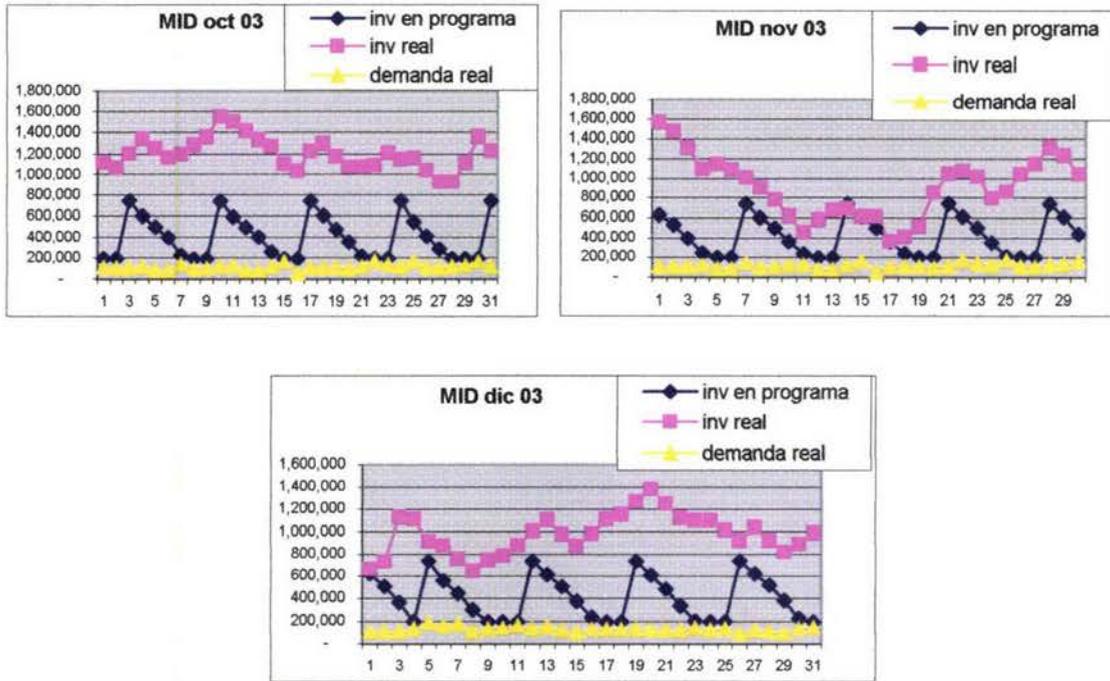


Fig. 4.5 Resultados Mérida Octubre-Diciembre 2003

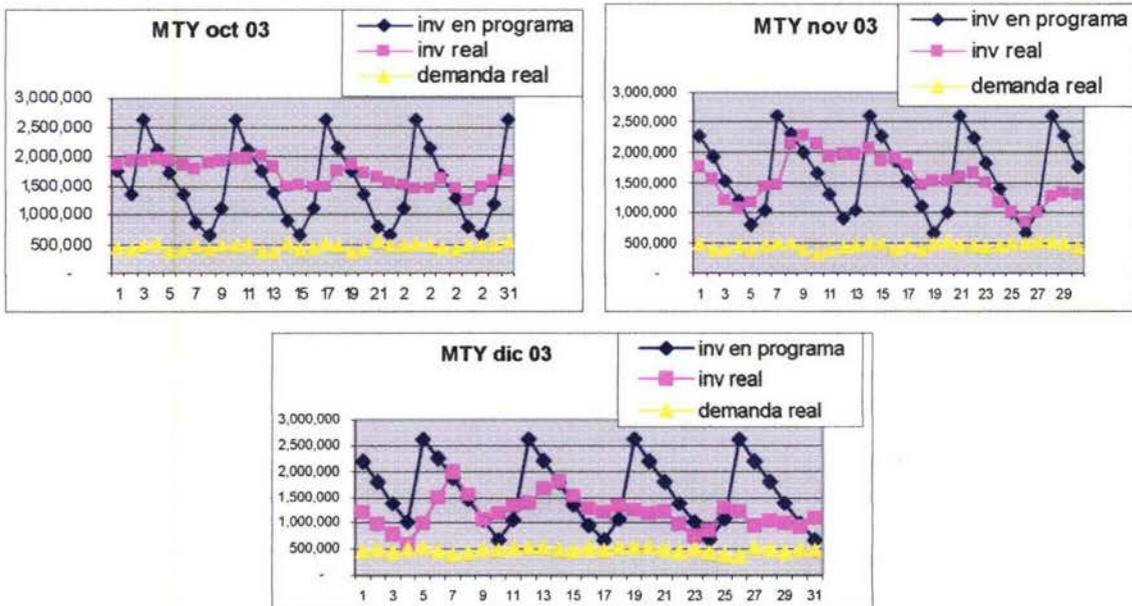


Fig. 4.6 Resultados Monterrey Octubre-Diciembre 2003

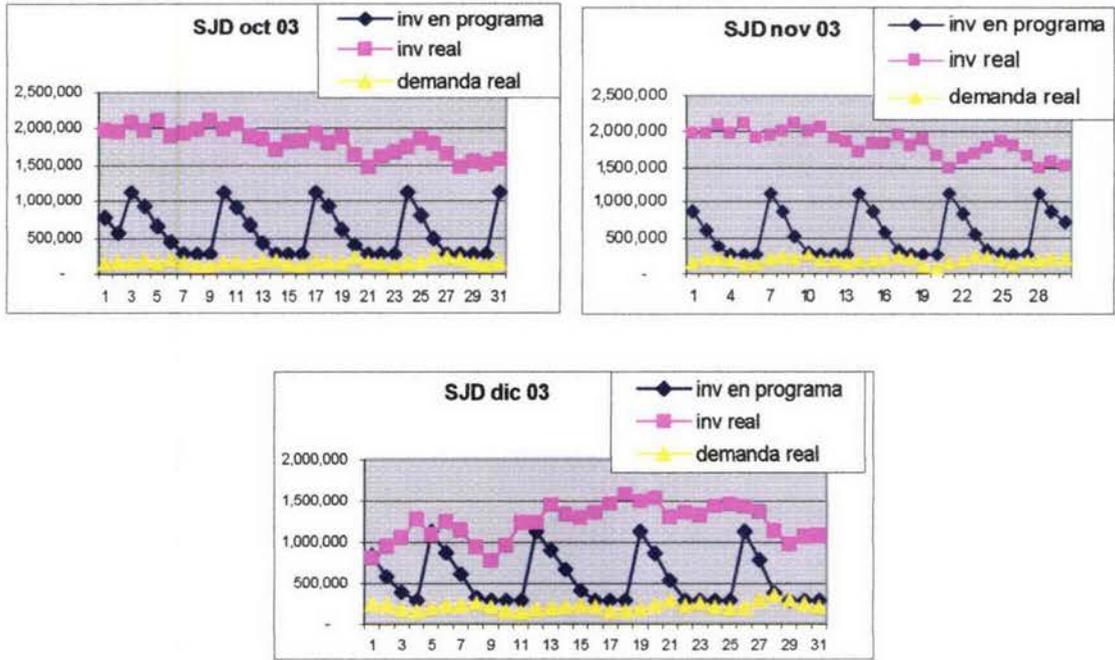


Fig. 4.7 Resultados San José del Cabo Octubre-Diciembre 2003

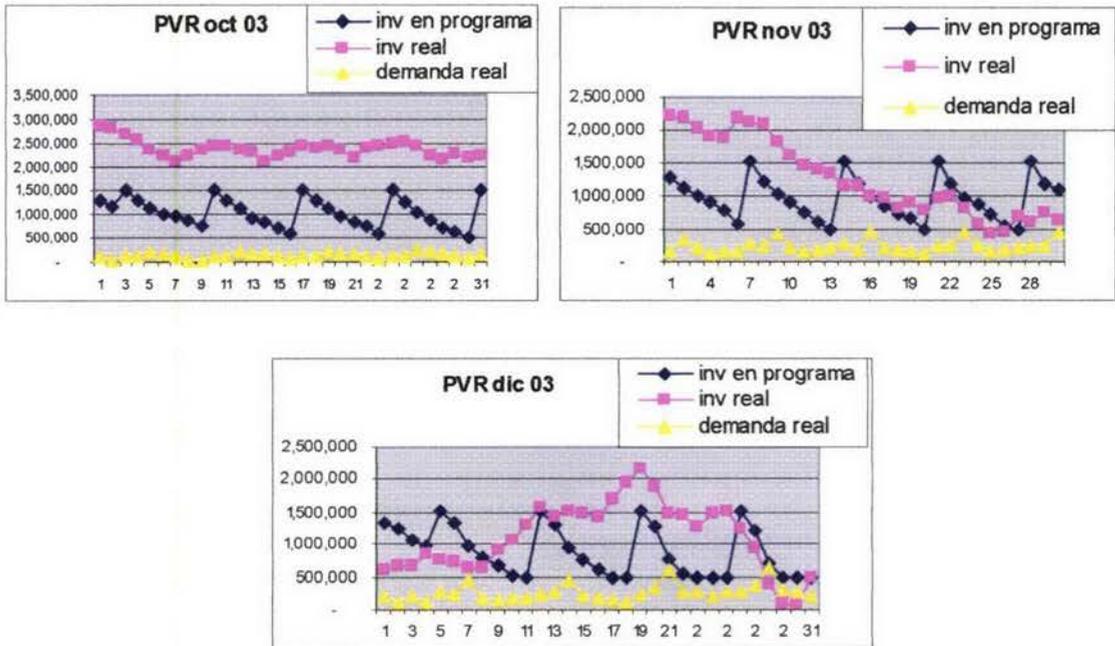


Fig. 4.8 Resultados Puerto Vallarta Octubre-Diciembre 2003

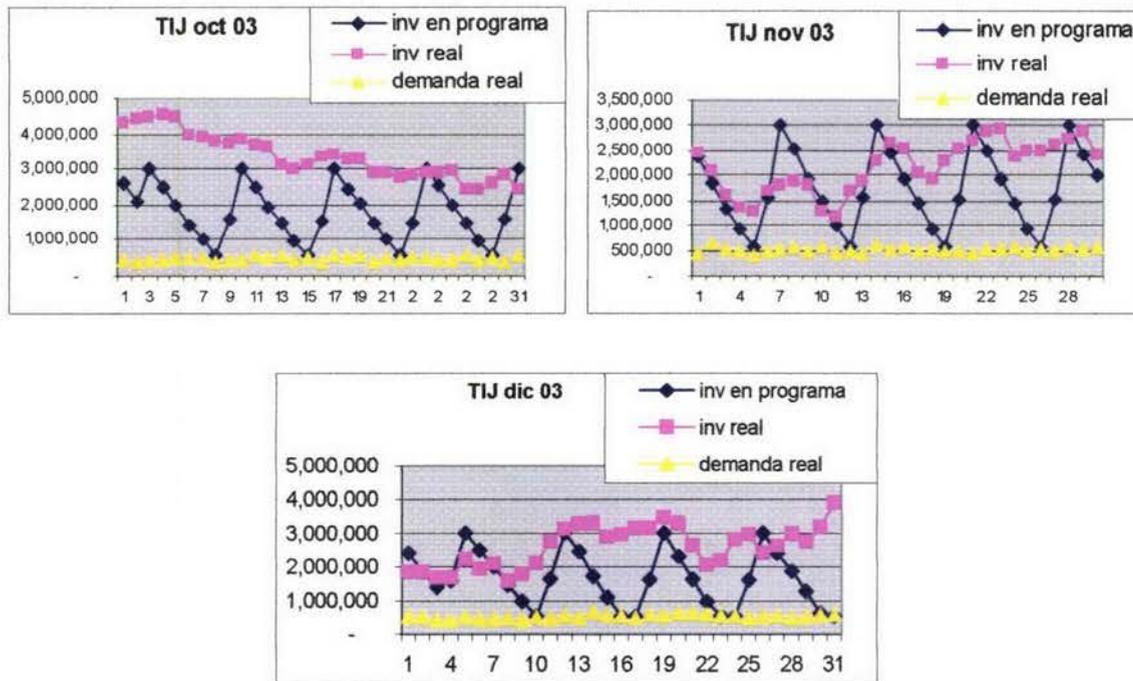


Fig. 4.9 Resultados Tijuana Octubre-Diciembre 2003

Se puede ver que el comportamiento de los inventarios para todos los aeropuertos es muy similar al modelo teórico de inventarios de diente de sierra, esto se explica con la política de inventarios que pide ASA de mantener un nivel de inventario de 6 días para el viernes, y relajarlo a un inventario mínimo los demás días de la semana. Al ser esto así, el programa, que busca minimizar los costos e inventarios, llena los tanques hasta 6 días para los viernes y los baja hasta el inventario mínimo y cuando ya necesita llegar a la restricción del viernes, vuelve a pedir.

Dos situaciones saltan con estos resultados:

1. El comportamiento de los inventarios resultantes, se acercan demasiado a tener un desabasto. Aunque los datos dentro del programa ya contabilicen toda la variabilidad del sistema, el programa supone que en ese momento cuando se está acabando el inventario, llegan los auto tanques justo a tiempo. Esto sería muy riesgoso.

2. Los embarques alrededor del viernes se vuelven imposibles de atender por parte de PEMEX. El que el programa arroje que el inventario se necesita en todos los aeropuertos en viernes, hace que sea irreal el que se pueda cumplir. Es aquí en donde el supuesto de que PEMEX tiene capacidad

prácticamente ilimitada se cancela. Se pudiera decir eso para un aeropuerto individual, pero al sumar la demanda de las 63 estaciones, se vuelve imposible.

Para quitar el riesgo y aterrizar un poco el modelo teórico que el programa arroja, se cambiaron las restricciones de capacidad de embarque de PEMEX, de manera que se suavice la entrega del combustible a lo largo de la semana. Para poder encontrar como suavizar esta entrega, se tomó el promedio de los embarques diarios que PEMEX realiza en los aeropuertos. Esto nos dice cuantos auto-tanques diarios manda PEMEX normalmente a cada aeropuerto. Con ese dato, tomado como la capacidad de los embarques, se corrió de nuevo el programa para los mismos tres meses y se obtuvieron resultados que no mejoraban los inventarios que actualmente se tienen. Esto es casi lógico, ya que si se toma como dato los embarques diarios de PEMEX, el programa arroja prácticamente los mismos resultados que se tienen a la fecha.

Entonces lo que se hizo fue hacer un análisis de sensibilidad para encontrar un punto medio entre el riesgo del primer resultado y el resultado de la operación diaria actual. Por supuesto que los resultados no serán tan favorables en cuanto a minimización de inventarios como los anteriores, pero se apega más a la realidad. Los resultados son los que se muestran en las tablas 4.2 y 4.3.

	demanda	EN PROGRAMA	
		inv promedio	días de tnv
CUN	1,183,119	6,191,344	5.2
GDL	831,842	3,460,322	4.2
ACA	74,738	366,847	4.9
PVR	213,274	1,089,035	5.1
MTY	467,831	1,979,194	4.2
SJD	194,756	898,782	4.6
MID	126,354	628,523	5.0
TIJ	515,973	2,179,754	4.2
HMO	155,418	751,795	4.8
		promedio	4.7

Tabla 4.2 Resultado en inventarios en programa

	REAL		diferencia	\$\$\$\$ ahorro
	inv promedio	días de inv		
CUN	5,193,958	4.4	(997,386)	(2,822,602)
GDL	2,420,631	2.9	(1,039,691)	(2,942,325)
ACA	1,409,478	18.9	1,042,631	2,950,646
PVR	1,591,335	7.5	502,300	1,421,510
MTY	1,491,795	3.2	(487,399)	(1,379,339)
SJD	1,626,548	8.4	727,766	2,059,577
MID	1,034,715	8.2	406,192	1,149,522
TIJ	2,724,376	5.3	544,622	1,541,280
HMO	1,242,237	8.0	490,442	1,387,949
	promedio	7.4		3,366,219

Tabla 4.3 Resultado en inventarios real y diferencia

El promedio de inventarios con esta "suavización de embarques", aumenta y es de 4.7 días vs. 3.9 del resultado anterior. El ahorro obtenido es de \$3,366,219 pesos diarios, que representan el 6.3% de la inversión en inventario en ese periodo. Aunque el ahorro es una tercera parte del anterior, este modelo se asemeja más a la realidad de embarques de PEMEX, y no se corre tanto riesgo de des-abasto.

A continuación se presentan las gráficas de los resultados:

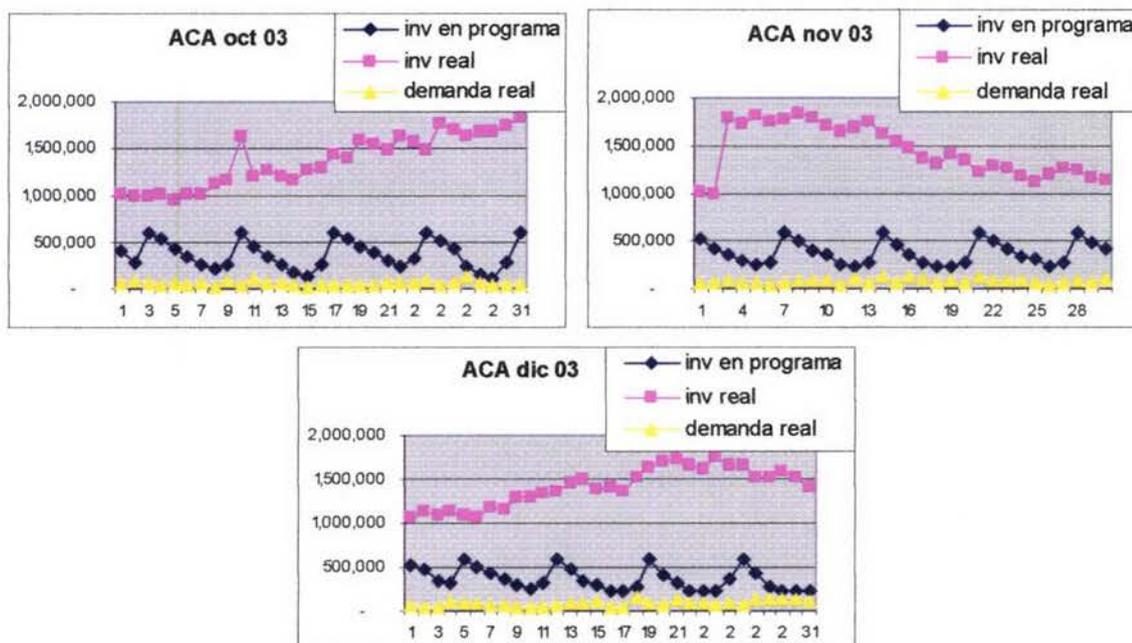


Fig. 4.10 Resultados Acapulco Octubre-Diciembre 2003

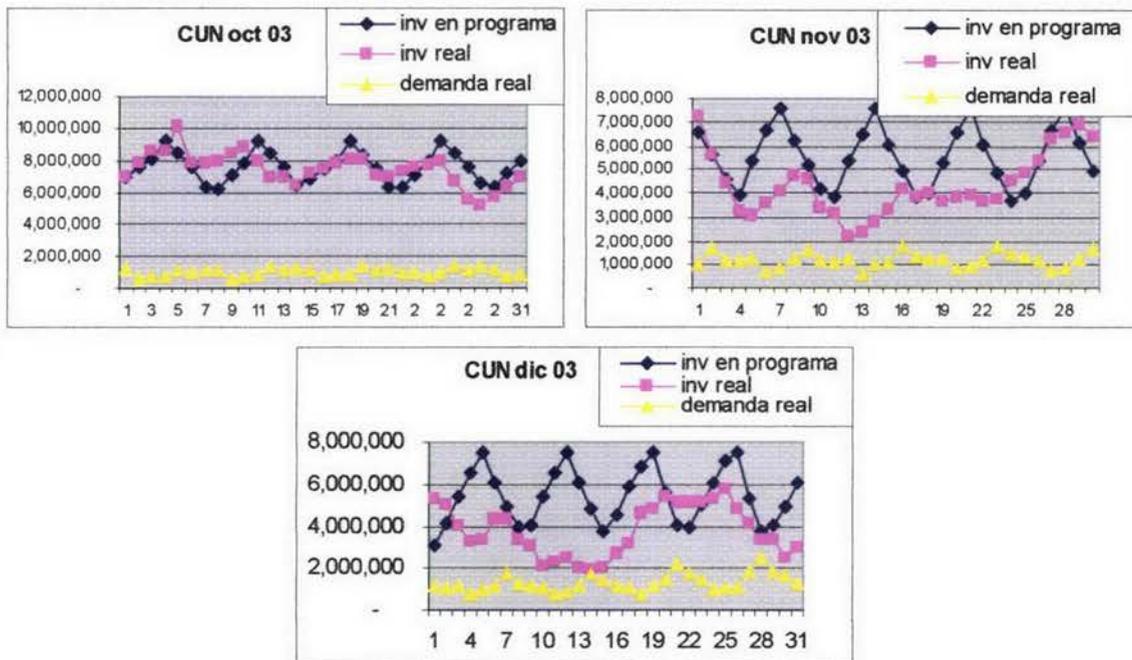


Fig. 4.11 Resultados Cancún Octubre-Diciembre 2003

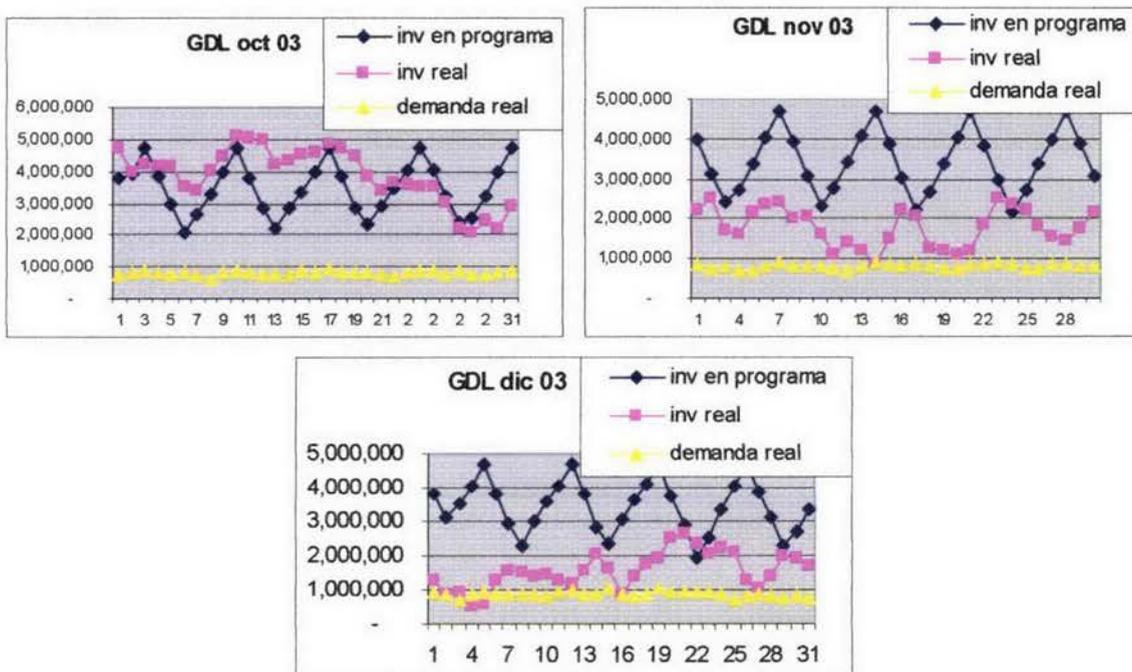


Fig. 4.12 Resultados Guadalajara Octubre-Diciembre 2003

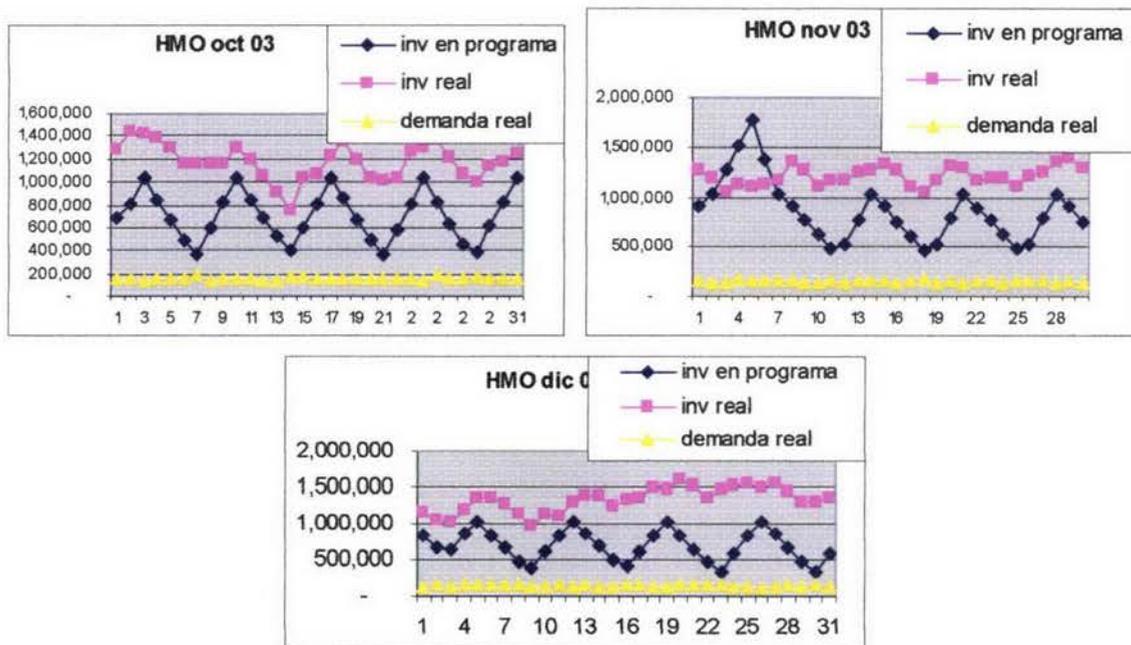


Fig. 4.13 Resultados Hermosillo Octubre-Diciembre 2003

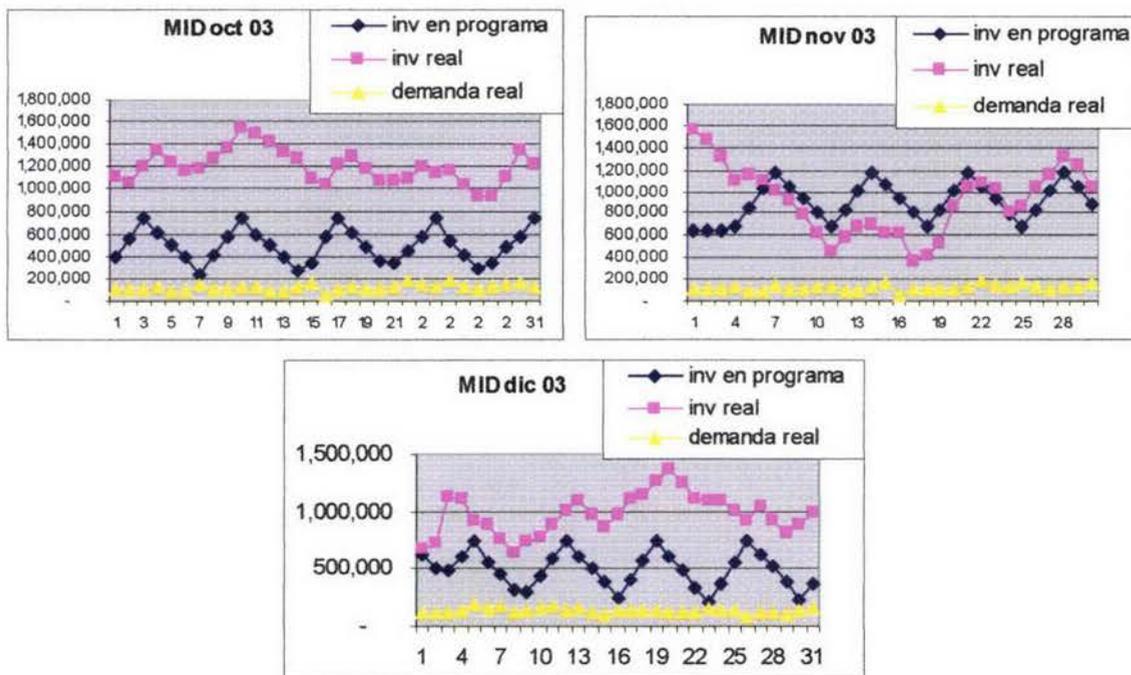


Fig. 4.14 Resultados Mérida Octubre-Diciembre 2003

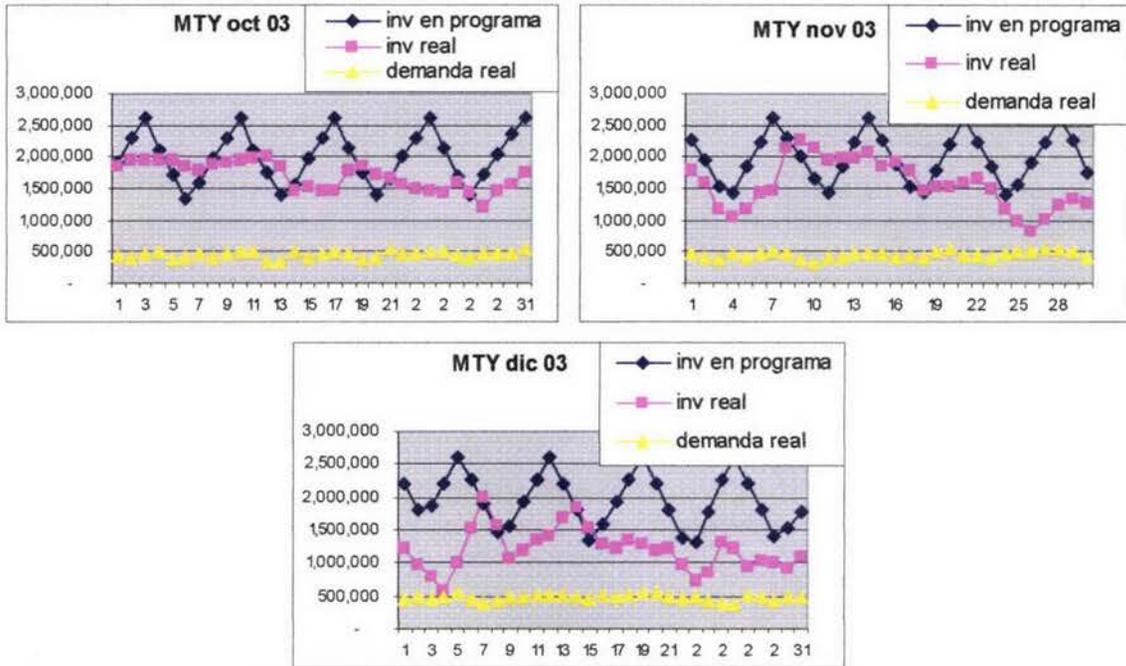


Fig. 4.15 Resultados Monterrey Octubre-Diciembre 2003

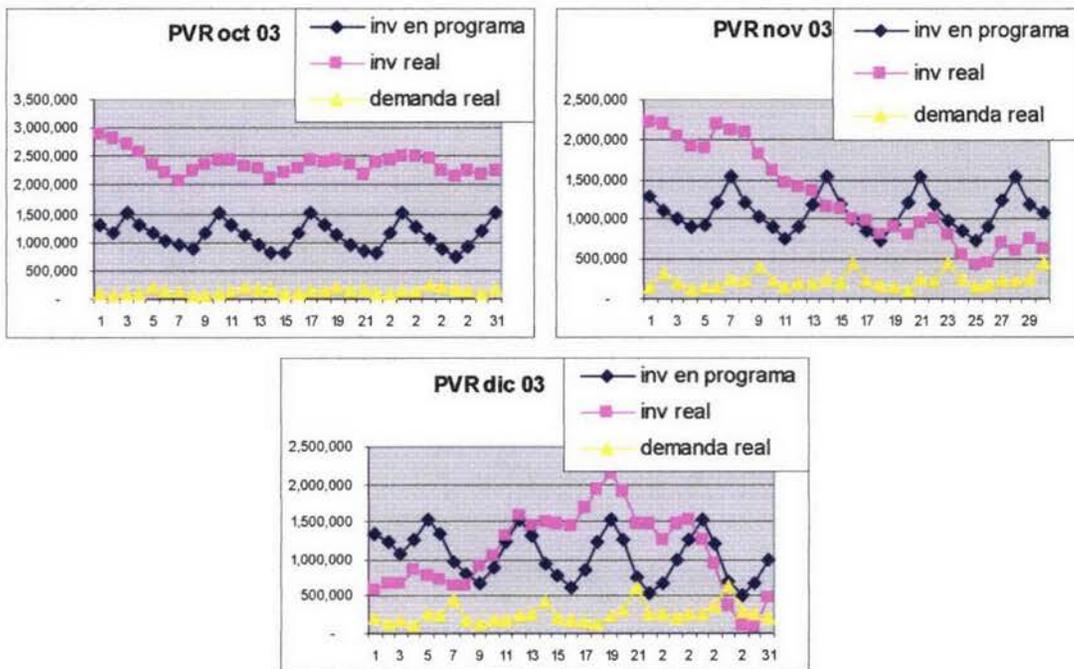


Fig. 4.16 Resultados Puerto Vallarta Octubre-Diciembre 2003

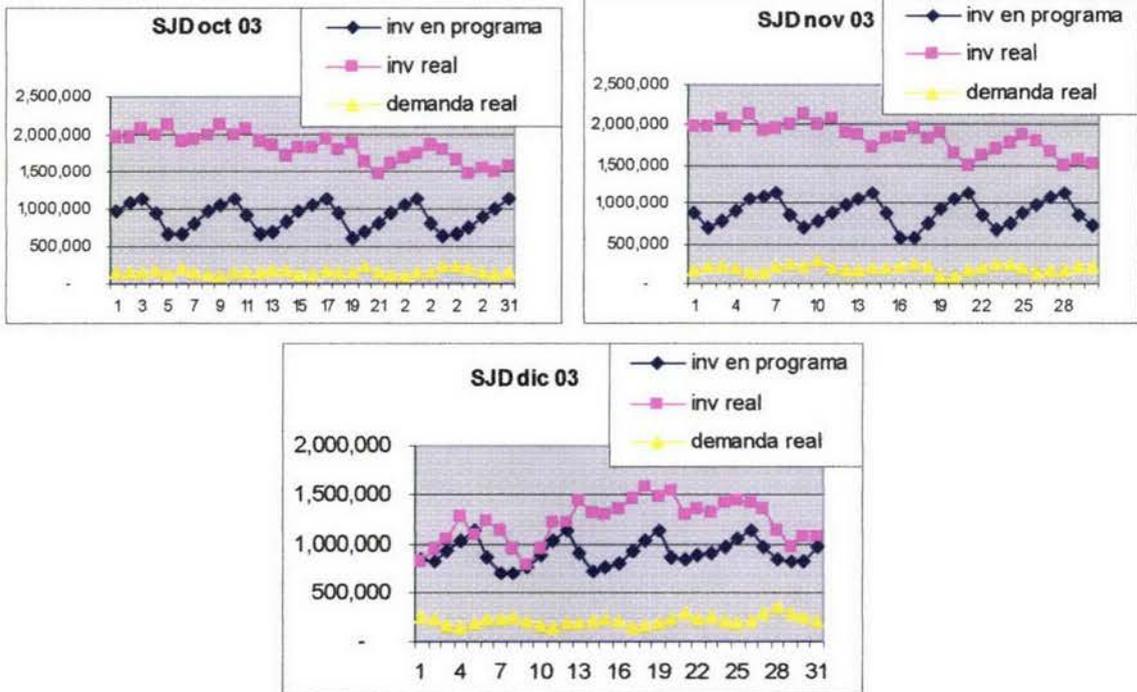


Fig. 4.17 Resultados San José del Cabo Octubre-Diciembre 2003

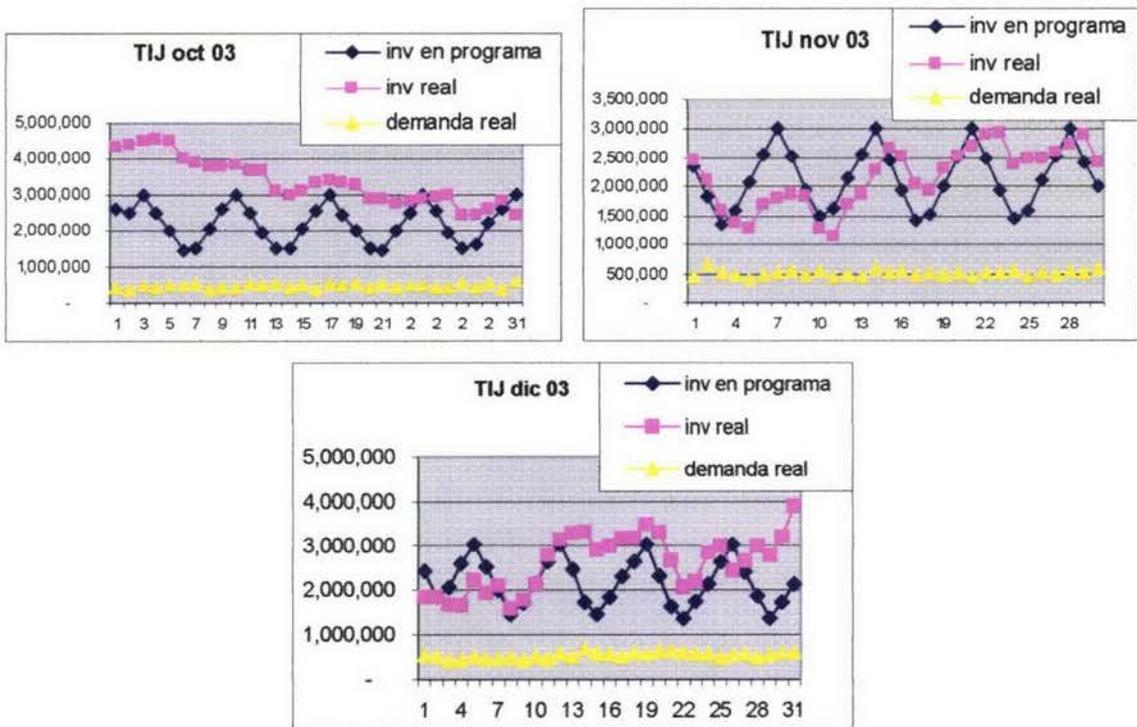


Fig. 4.18 Resultados Tijuana Octubre-Diciembre 2003

Conclusiones

Para un problema relativamente simple, se encontró un modelo sencillo, para hacer más eficiente la tarea rutinaria de programación de embarques de turbosina a los aeropuertos del país.

Los resultados obtenidos con las dos versiones del modelo, disminuyen los costos de inventarios promedios en general. Existen algunos aeropuertos en donde el inventario promedio aumenta, y esto es debido a que por el momento el manejo de inventarios es mucho menor al establecido por la política de ASA.

El beneficio para ASA por utilizar el modelo y no su procedimiento actual se obtiene al hacer más ágil la programación de embarques y el seguimiento a los mismos. La mejora en la eficiencia organizacional ayudaría a ASA a poder utilizar recursos humanos a otros proyectos limitados. El beneficio en inversión en inventario no es abrumador, y esto se debe a que al apegarse a la realidad de embarques y a las restricciones de las políticas, el modelo no disminuye como quisiera uno los inventarios.

Al analizar la manera en como se comportan los inventarios por ahora en los distintos aeropuertos, se puede ver que en prácticamente ninguno se tiene un inventario de 6 días en viernes. Es así como se maneja por el momento, y es así como cumplen con la demanda en todo el país. Es entendible que se quiera tener una seguridad mayor para evitar desabastos, y por ello se pongan restricciones al modelo, pero la política no se cumple ahora.

Si partimos del hecho de que no se cumple por el momento la política de los 6 días de inventario, el modelo podría ajustarse a una política de menor inventario y así el beneficio de ahorro en inversión sería mayor. Esto se deja a la consideración de ASA como dueño del proceso y a una revisión al contrato con PEMEX como distribuidor de combustible.

El modelo tiene oportunidades de mejora: Primero hay que incorporar las 63 estaciones del país, y para ello es necesario hacer una Macro más elaborada, en donde sólo se le diga al programa el mes del año, el aeropuerto y correr la programación. De esta manera no se tendrían que hacer 63 clic para correr todos los aeropuertos.

Segundo un programa profesional de pronósticos ayudaría en gran medida a la tarea de determinar la demanda del mes a programar, éste se debe de comprar y debe de existir una persona que se encargue de esta tarea.

Una extensión al modelo sería el incorporar la optimización de los embarques de PEMEX, esto es rutas de distribución a partir de los centros productores y embarcadores. Como se mencionó anteriormente, sería la optimización integral del sistema de abastecimiento de combustibles a nivel nacional. Para ello es necesario trabajar conjuntamente con PEMEX para que dé resultado.

Como recomendaciones, es muy importante que se termine de incorporar la medición automática a todas las estaciones de combustible de ASA, así como un sistema en red en donde se alimente la información, se consolide en las oficinas generales de ASA y esté disponible para la toma de decisiones.

Por último, es recomendable renegociar el contrato con PEMEX en cuanto a políticas de inventarios que de hecho no se cumplen por el momento. Se tiene que encontrar un punto medio que beneficie a las dos partes, una relación gana-gana.

En conclusión, con este modelo, aunque expandible, se pueden obtener beneficios de tiempo y dinero que van en línea con el plan de negocios de ASA que es el de crear sistemas que robustezcan la operación de combustibles para poder ser competitivos ante un mercado global.

Referencias

- Anderson, Sweeney, Williams, Quantitative methods for Business, 8ava edición 2001 , South Western College Publishing
- Anderson, Sweeney, Williams, Statistics for Business and Economics, 7a edición, Thompson Publishing, 1999
- Axsäter, Inventory Control, 2000, Kluwer Academic Publishers
- Axsäter S. Optimal Policies for serial Inventory systems under fill rate constraints. Management science, vol 49, pp 247-253.
- Bonini, Hausman, Bierman, Quantitative Analysis for Management, 9a edición, 1997, Mc Graw Hill
- Browne S., Zipkin P., Inventory Models with Continuous Stochastic Demands, The Annals of Applied Probability, vol 1, No 3, 419-435.
- Chase, Jacobs, Aquilano, Operations Management for Competitive Advantage, 10a edición, Mc Graw Hill.
- De Silva, Mejoramiento de un sistema productivo validado con simulación, 1998, Tesis UNAM.
- Elmaghraby W., Keskinocak P., Dynamic Pricing in the Presence of Inventory Considerations: Research overview, Current practices, and Future decisions. Management science, vol 49, pp 1287-1309.
- Fitzsimmons, Fitzsimmons, Service Management, 3a edición, Mc Graw Hill
- Ha A., Li L., Ng S. , Price and Delivery Logistics Competition in a Supply Chain, Management Science, vol 49. pp1139-1153.
- Hill R., Order Splitting n continuous review (Q,r) inventory models. European Journal of Operations Research 1995.
- Hillier, Hillier, Lieberman, Introduction to Management Science, Mc Graw Hill, 2000
- Hopp W., Spearman M., Factory Physics, Mc Graw Hill 1996.
- Johansen S.G., Hill R. The (r,Q) Control of a periodic-review inventory system with continuous demand and lost sales, International journal of Production Economics, 68 (2000) 279-286.
- Kleywegt, Savelsberg, Campbell, Clarke, The Inventory Routing Problem.
- Muckstadt J., Rappold J., Murray D., Collins D., Guidelines for Collaborative Supply Chain System Design and Operation, Working Paper Cornell University, 2001.

- Ríos, Plan de Negocios ASA, 2003.
- Ross, Introduction to Probability Models, 5a edición, Academic Press, 1993.
- Sipper, Bulfin, Production, Planning, Control and Integration, 1997, Mc Graw Hill
- Zipkin P. H. Foundations of Inventory Management, Mc Graw Hill 2000

ANEXOS

ANEXO 1

Modelo en Excel

En este anexo se muestran las hojas de cálculo que se utilizan para la programación de los embarques, así como el código en Visual Basic que corre la programación lineal. Primero está el ejemplo del modelo de uno de los aeropuertos, después la "hoja de datos" que se alimenta de la demanda del mes anterior, del precio de la turbosina al momento de correr el programa y del inventario inicial que es el inventario final del mes anterior. La siguiente es la hoja de programación de todos los aeropuertos del mes en cuestión, ésta hoja es la que se imprime y se manda a PEMEX. En esta última, es en donde en el programa se corre la Macro oprimiendo los botones respectivos a cada aeropuerto. Por último se muestra el código de Visual Basic para el modelo para todos los aeropuertos.

AEROPUERTO
MES

ACAPULCO
OCTUBRE

costo inventario diario	0.0004	CETES
precio	2.45	
inventario mínimo	2	
inventario mínimo viernes	6	
inventario máximo	60	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue
demanda	0.8	1.3	1.0	0.7	1.0	0.8	0.9	0.4	1.2	0.6	1.5	1.0	0.9	0.8	0.5	-
pedido	-	-	4	-	-	-	0	-	0	6	-	-	-	-	-	-
Inventario	5.0	4.2	2.9	5.9	5.3	4.3	3.5	2.7	2.2	1.0	5.9	4.5	3.5	2.6	1.8	1.4
costo inventario	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
costo pedido	0.0017	-	-	10	-	-	-	-	-	0	14	-	-	-	-	-
Total costos	0	0	10	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0
pedido en pipas	-	-	10	-	-	-	-	-	-	0	13	-	-	-	-	-

Función objetivo	\$	67.72
	\$	6,772,170.56

Restricciones de capacidad de embarque		
Mié	- <=	20
Jue	- <=	20
Vie	4 <=	20
Sáb	- <=	20
Dom	- <=	20
Lun	- <=	20
Mar	- <=	20
Mié	- <=	20
Jue	0 <=	20
Vie	6 <=	20
Sáb	- <=	20
Dom	- <=	20
Lun	- <=	20
Mar	- <=	20
Mié	- <=	20
Jue	- <=	20
Vie	6 <=	20
Sáb	- <=	20
Dom	- <=	20
Lun	- <=	20
Mar	- <=	20
Mié	0 <=	20
Jue	1 <=	20
Vie	6 <=	20
Sáb	- <=	20
Dom	- <=	20
Lun	- <=	20
Mar	- <=	20
Mié	0 <=	20
Jue	1 <=	20
Vie	6 <=	20
Sáb	- <=	20
Dom	- <=	20
Lun	- <=	20
Mar	- <=	20

restricciones de inventarios mínimos		
Mié	4 >=	1
Jue	3 >=	1
Vie	6 >=	6
Sáb	5 >=	1
Dom	4 >=	1
Lun	4 >=	1
Mar	3 >=	1
Mié	2 >=	1
Jue	1 >=	1
Vie	6 >=	6
Sáb	5 >=	1
Dom	5 >=	1
Lun	4 >=	1
Mar	3 >=	1
Mié	2 >=	1
Jue	1 >=	1
Vie	6 >=	6
Sáb	5 >=	1
Dom	4 >=	1
Lun	2 >=	1
Mar	1 >=	1
Mié	1 >=	1
Jue	1 >=	1
Vie	6 >=	6
Sáb	5 >=	1
Dom	3 >=	1
Lun	2 >=	1
Mar	2 >=	1

restricciones de inv máx		
Mié	4 <=	60
Jue	3 <=	60
Vie	6 <=	60
Sáb	5 <=	60
Dom	4 <=	60
Lun	4 <=	60
Mar	3 <=	60
Mié	2 <=	60
Jue	1 <=	60
Vie	6 <=	60
Sáb	5 <=	60
Dom	5 <=	60
Lun	4 <=	60
Mar	3 <=	60
Mié	2 <=	60
Jue	1 <=	60
Vie	6 <=	60
Sáb	5 <=	60
Dom	4 <=	60
Lun	2 <=	60
Mar	1 <=	60
Mié	1 <=	60
Jue	1 <=	60
Vie	6 <=	60
Sáb	5 <=	60
Dom	3 <=	60
Lun	2 <=	60
Mar	2 <=	60

																			totales
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	
0.6	0.6	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	1.3	0.8	1.0	1.9	0.9	0.6	0.6	0.8	1.0	1.9	0.9	0.6	
6	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	0	1	6	-	-	-	-	
6.9	5.3	4.6	3.9	3.1	2.3	1.5	6.9	5.2	4.2	2.3	1.4	1.0	1.0	5.9	5.0	3.1	2.2	1.5	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	1	1	14	-	-	-	-	
14	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	1	1	14	0	0	0	0	
13	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	1	1	14	-	-	-	-	

87.72

PRECIO TURBOSINA

2.45

Octubre 2003

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Do
demanda ACAPULCO	83,173	128,967	95,418	86,598	98,143	75,588	88,482	42,876	124,397	57,968	147,885	99,658	89,001	76,474	45,502	59,292	61,590	61,387	75,350	68,650	82,306	80,354	79,427	128,001	76,440	95,2
inventario inicial	500,000			584,246																						
demanda CANCUN	1,048,057	597,455	844,846	681,999	997,427	879,251	965,268	1,025,499	591,145	634,754	903,804	1,255,346	968,194	1,051,550	971,742	683,897	753,825	788,108	1,253,216	981,139	1,091,317	838,391	874,254	644,172	931,402	1,255
inventario inicial	1,500,000			11,488,777																						
demanda GUADALAJARA	892,239	856,821	895,171	940,600	918,835	840,216	881,430	867,817	826,045	768,200	898,604	581,908	852,128	869,103	1,007,718	857,640	778,253	861,936	1,013,557	906,023	904,761	913,613	917,176	860,113	584,827	789
inventario inicial	4,679,212			4,711,029																						
demanda HERMOSILLO	187,015	175,570	188,692	189,582	174,780	175,979	228,210	166,954	177,718	187,853	186,874	170,911	161,941	194,351	204,313	178,278	175,021	183,946	183,946	183,946	192,822	174,320	176,835	172,392	219,144	185
inventario inicial	870,000			1,038,219																						
demanda MERIDA	131,177	124,695	123,598	137,865	104,346	100,090	169,979	116,248	126,085	139,628	146,746	37,981	94,298	136,913	191,692	83,576	128,745	133,725	130,546	119,468	136,361	200,049	161,037	139,418	196,587	135
inventario inicial	300,000			741,343																						
demanda MONTERREY	428,315	417,900	469,919	458,227	386,045	394,408	466,324	420,537	471,762	490,923	501,301	360,764	356,620	495,814	403,775	456,927	494,830	483,276	380,942	416,761	533,377	475,833	484,076	499,326	428,158	428
inventario inicial	2,200,000			2,812,532																						
demanda PUERTO VALLARTA	95,925	121,941	122,706	226,915	160,751	139,179	60,557	83,855	119,493	133,811	231,857	168,488	195,092	117,084	93,277	136,789	137,192	238,478	162,033	185,545	113,261	95,373	133,730	137,702	252,598	230
inventario inicial	1,399,000			1,537,869																						
demanda SAN JOSE DEL CABO	216,586	204,958	250,187	160,508	288,481	214,742	168,737	145,094	212,933	223,212	210,368	235,252	247,155	169,372	162,396	234,350	220,801	191,099	310,474	219,039	160,175	147,013	202,898	223,853	319,363	312
inventario inicial	1,000,000			1,124,034																						
demanda TIJUANA	411,992	482,969	462,241	519,331	518,174	538,503	407,786	482,644	459,776	570,074	517,862	567,270	455,652	509,238	413,899	548,277	512,158	572,287	428,034	545,780	459,018	491,575	499,395	458,875	473,381	581
inventario inicial	3,090,000			3,020,444																						

AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES
SUBDIRECCION DE OPERACION
GERENCIA DE COMBUSTIBLES

ACAPULCO

CUN

GDL

HMO

Programación Mensual de Embarques
TURBOSINA (Autotanques de 42 m3)

PVR

MERIDA

TIJUANA

MTY

SJD

Octubre 2004

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie
ACAPULCO	0	0	10	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	1	13	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	1	1	14
CANCUN	8	48	48	48	0	0	0	28	48	48	48	0	0	0	40	48	48	48	0	0	0	30	48	48	48	0	0	0	20	48	48
GUADALAJARA	0	23	36	0	0	0	34	36	36	36	0	0	6	36	36	36	36	0	0	9	36	36	36	36	0	0	0	22	36	36	36
HERMOSILLO	0	0	17	0	0	0	0	4	4	23	0	0	0	0	3	4	23	0	0	0	0	3	4	23	0	0	0	0	4	5	23
MERIDA	1	3	16	0	0	0	0	2	3	16	0	0	0	0	3	2	16	0	0	0	0	4	4	16	0	0	0	1	4	5	16
MONTERREY	0	0	41	0	0	0	0	5	22	48	0	0	0	0	4	21	48	0	0	0	0	8	22	48	0	0	0	0	5	23	48
PUERTO VALLARTA	0	0	11	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	29
SAN JOSE DEL CABO	0	0	19	0	0	0	0	3	5	25	0	0	0	1	4	6	25	0	0	0	2	4	5	25	0	0	2	5	4	5	24
TIJUANA	0	0	33	0	0	0	0	0	35	48	0	0	0	0	0	36	48	0	0	0	0	1	34	48	0	0	0	0	0	39	48

Código del Visual Basic

```
Sub ACAPULCO_Click()  
Worksheets("ACAPULCO").Activate  
    SolvLoad (Range("B18"))  
    SolvSolve UserFinish = False  
    Worksheets("prog embarq").Activate  
End Sub
```

```
Private Sub MERIDA_Click()  
Worksheets("MID").Activate  
    SolvLoad (Range("B18"))  
    SolvSolve UserFinish = False  
    Worksheets("prog embarq").Activate  
End Sub
```

```
Private Sub MTY_Click()  
Worksheets("MTY").Activate  
    SolvLoad (Range("B18"))  
    SolvSolve UserFinish = False  
    Worksheets("prog embarq").Activate  
End Sub
```

```
Private Sub PVR_Click()  
Worksheets("PVR").Activate  
    SolvLoad (Range("B18"))  
    SolvSolve UserFinish = False
```

```
Worksheets("prog embarq").Activate  
End Sub
```

```
Private Sub HMO_Click()  
Worksheets("HMO").Activate  
SolvLoad (Range("B18"))  
SolvSolve UserFinish = False  
Worksheets("prog embarq").Activate  
End Sub
```

```
Private Sub GDL_Click()  
Worksheets("GDL").Activate  
SolvLoad (Range("B18"))  
SolvSolve UserFinish = False  
Worksheets("prog embarq").Activate  
End Sub
```

```
Private Sub CUN_Click()  
Worksheets("CANCUN").Activate  
SolvLoad (Range("B18"))  
SolvSolve UserFinish = False  
Worksheets("prog embarq").Activate  
End Sub
```

```
Private Sub SJD_Click()  
Worksheets("SJD").Activate
```

```
SolvLoad (Range("B18"))  
SolvSolve UserFinish = False  
Worksheets("prog embarq").Activate  
End Sub
```

```
Private Sub TIJUANA_Click()  
Worksheets("TIJ").Activate  
SolvLoad (Range("B18"))  
SolvSolve UserFinish = False  
Worksheets("prog embarq").Activate  
End Sub
```

ANEXO II

Comportamiento de la demanda y los inventarios

En este anexo se presentan las gráficas que describen el comportamiento de la demanda, los inventarios y los pedidos a PEMEX, así como los índices de cada aeropuerto calculados para tomar en cuenta la variabilidad entre lo pedido y lo recibido, explicado en el capítulo 3.

En la figura II.1 de este anexo se muestra en una sola gráfica, el comportamiento de los inventarios en los aeropuertos, la demanda del mismo aeropuerto y las cantidades recibidas día a día por PEMEX. Con esta gráfica se demuestra que los inventarios que se tienen en los aeropuertos son altos, y que la variabilidad en los mismos depende de las entregas de PEMEX, ya que como se ve, la demanda es relativamente plana.

La figura II.2 es una muestra de lo que ASA pide a PEMEX vs. lo que recibe, con lo que se concluye que un problema grande es que PEMEX manda el combustible sin tomar en cuenta los volúmenes pactados.

La tabla II.1 muestra el promedio de los índices que son calculados por la diferencia entre lo pedido y lo recibido por ASA.

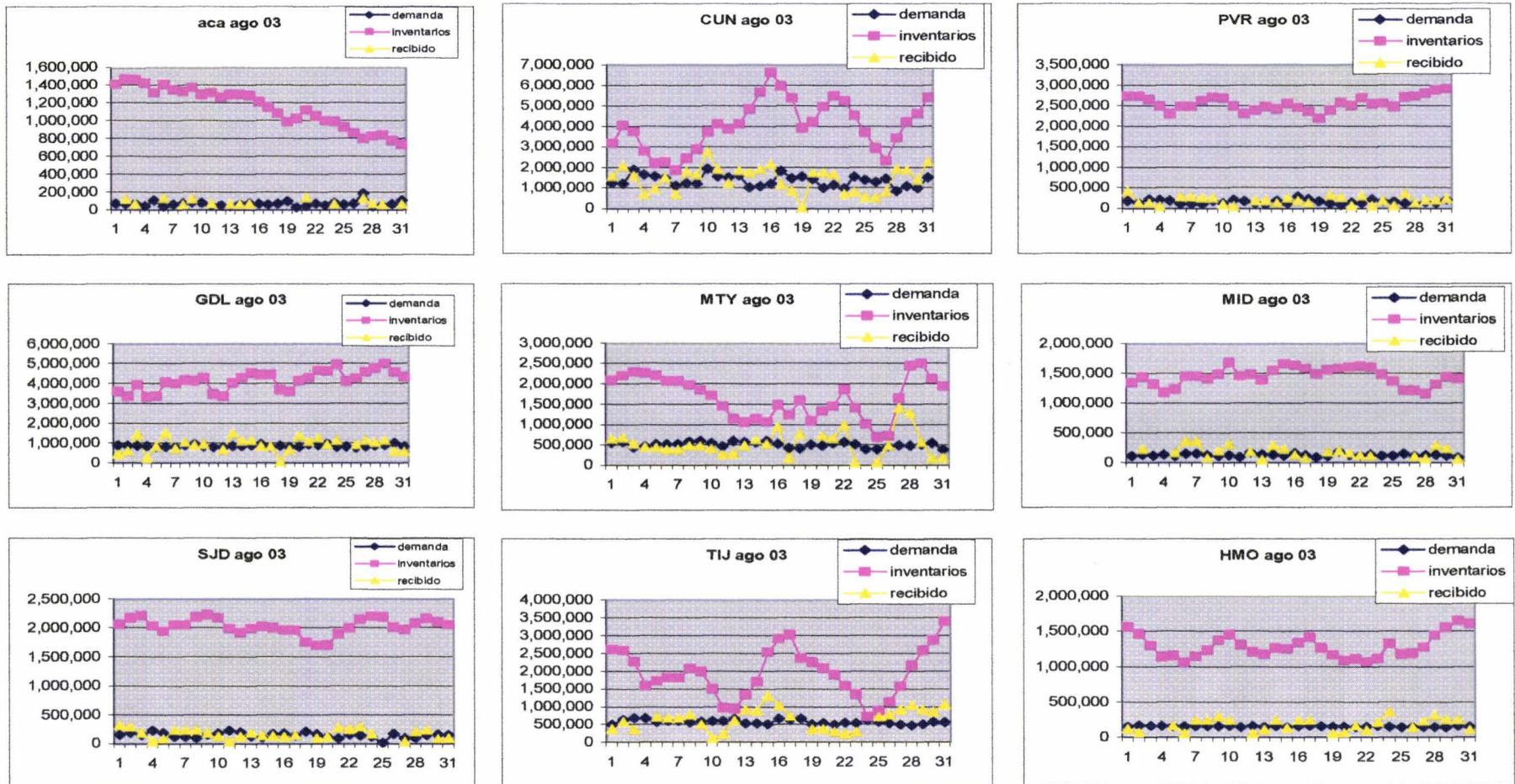


Figura II.1 Muestra del comportamiento de inventarios vs. demanda vs. lo recibido por ASA

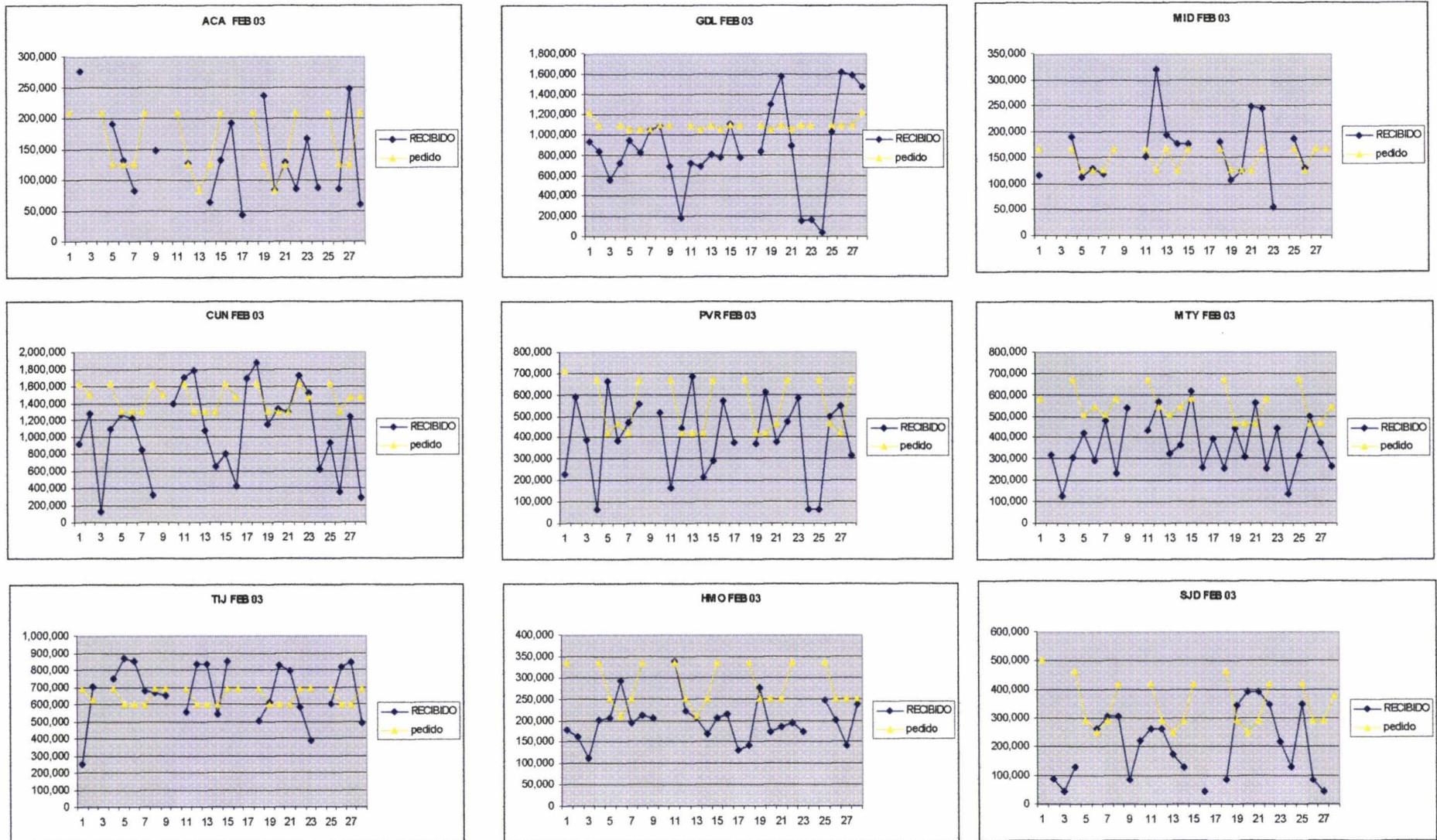


Figura II.2 Diferencia entre lo pedido y lo recibido por ASA

Tabla II.1 promedio del índice para la diferencia entre lo pedido y lo recibido

ACA	CUN	GDL	PVR	SJD	MTY	MID	TIJ	HMO
0.94	0.54	0.89	0.89	0.72	0.59	0.75	0.37	0.5

ANEXO III

Pronósticos

En este anexo se muestran las gráficas de los pronósticos realizados para los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre para todos los aeropuertos.

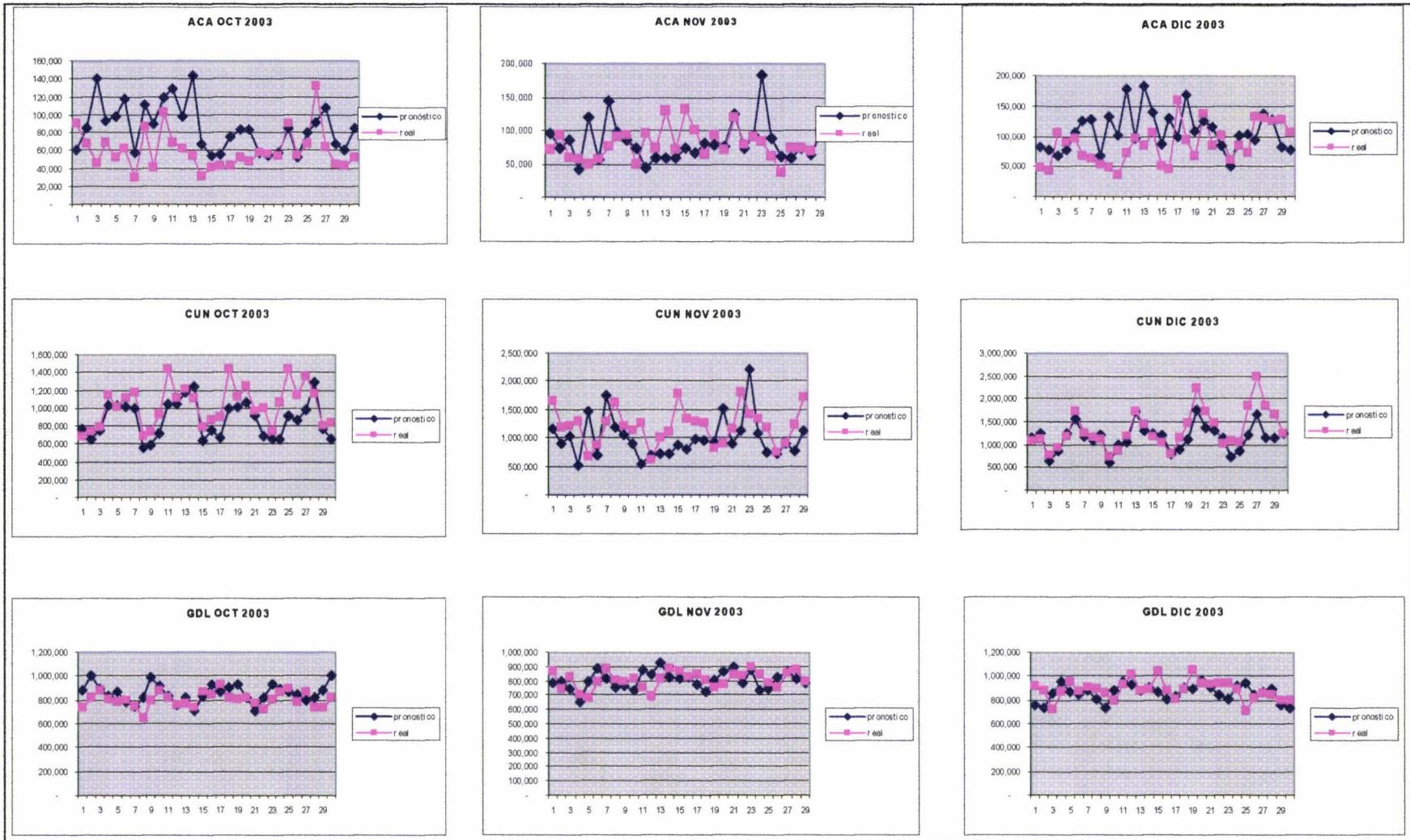


Fig III.1 Pronósticos Acapulco, Cancún y Guadalajara Oct-Dic 2003

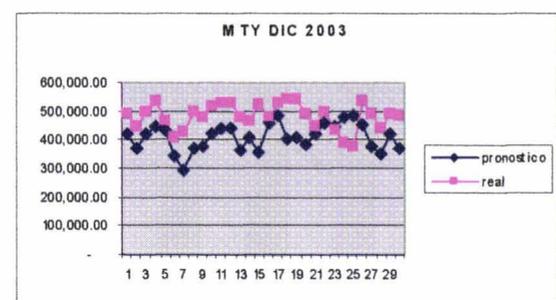
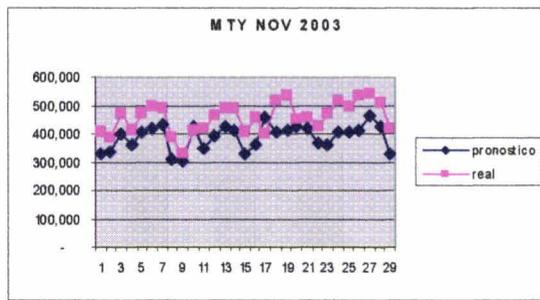
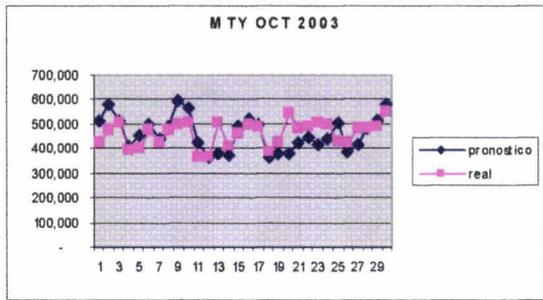
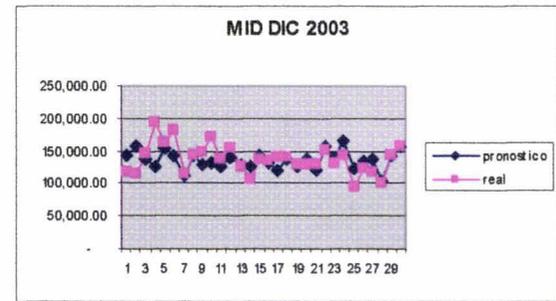
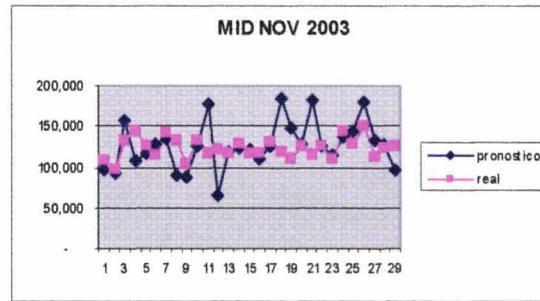
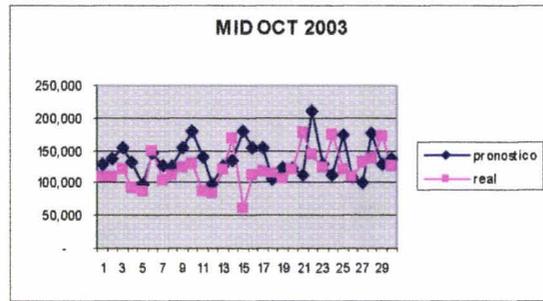
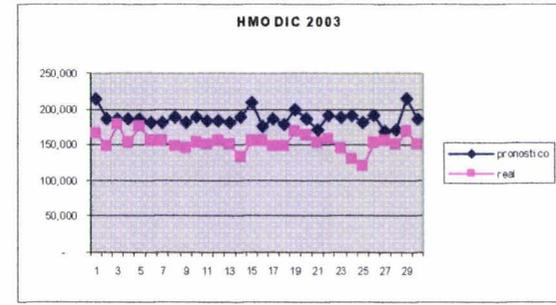
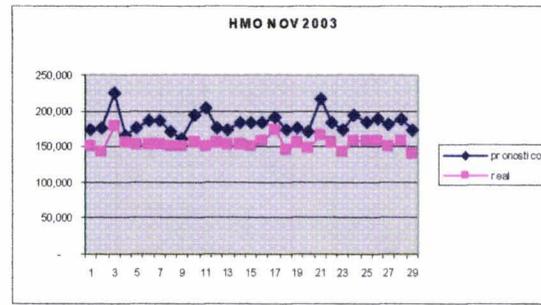
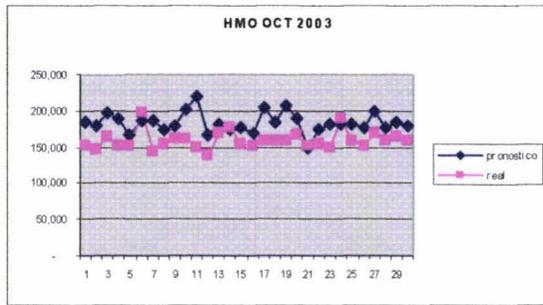


Fig III.2 Pronósticos Hermosillo, Mérida y Monterrey Oct-Dic 2003

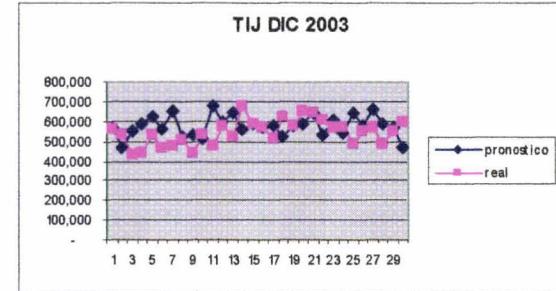
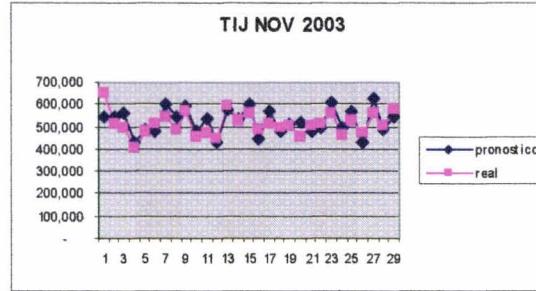
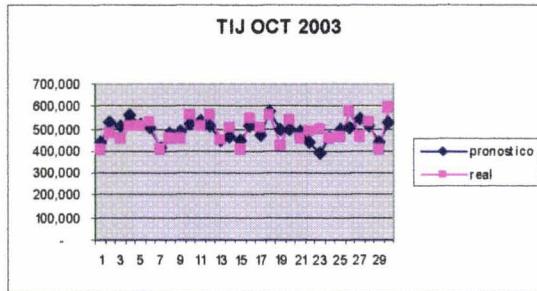
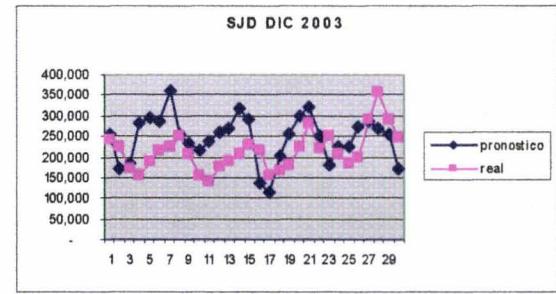
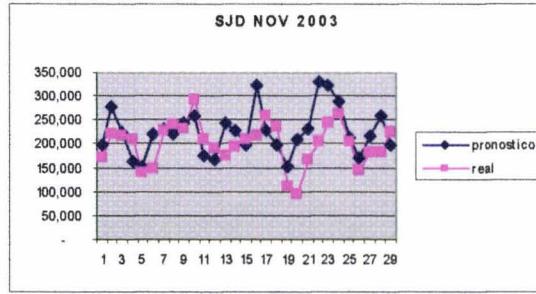
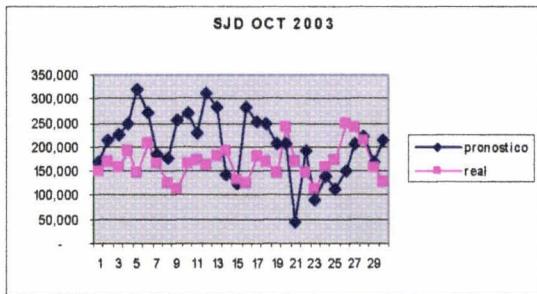
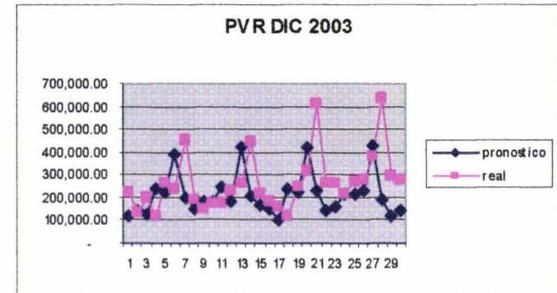
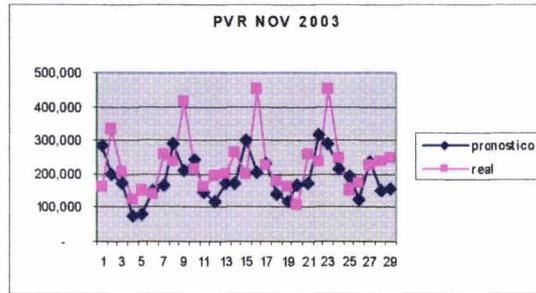
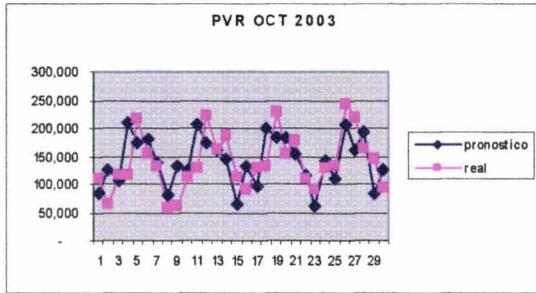


Fig III.3 Pronósticos Puerto Vallarta, San José del Cabo y Tijuana Oct-Dic 2003

ANEXO IV

Cálculo de Inventarios

En este anexo se encuentran los cálculos de inventarios mínimos para cada aeropuerto. Estos datos son alimentados al programa para calcular los embarques de turbosina.

En la figura IV. 1 se muestran los histogramas de la demanda de cada aeropuerto, en donde se puede ver que todos excepto Puerto Vallarta y Acapulco se asemejan a un comportamiento de campana como distribución normal y los últimos dos, a una distribución Poisson.

CALCULO DE INVENTARIOS

ACAPULCO
 POISSON
 Inventario mínimo

			viernes
demanda diaria			
media	86,753	días	
desv estandar	52,534	días	
tiempo de entrega: media			
	2	días	4
desv estandar			
	0.5	días	0.5
tiempo de revision			
	1	día	1
nivel de servicio			
	0.9		
Indice de diferencia en entregas			
1.10 media diferencia en entregas diarias/demanda diaria			

demanda durante periodo de riesgo 260,260

INV SEG	139,740	días
inv mínimo	234,856	2.70717219

inventario mínimo en viernes =

demanda durante periodo de riesgo 433,767

INV SEG	266,233
inventario mínimo en viernes	700,000
inv max	6,000,000

8.06884573

PUERTO VALLARTA
 POISSON
 Inventario mínimo

			viernes
demanda diaria			
media	226,279	días	
desv estandar	132,437	días	
tiempo de entrega: media			
	2	días	4
desv estandar			
	0.5	días	0.5
tiempo de revision			
	1	día	1
nivel de servicio			
	0.9		
Indice de diferencia en entregas			
0.75 media diferencia en entregas diarias/demanda diaria			

demanda durante periodo de riesgo 678,838

INV SEG	321,162	días
inv mínimo	490,871	2.16931599

inventario mínimo en viernes =

demanda durante periodo de riesgo 1,131,397

INV SEG	468,603
inventario mínimo en viernes	1,600,000
inv max	4,500,000

7.07090558

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

CALCULO DE INVENTARIOS

CANCUN

Inventario minimo

viernes

demanda diaria			
media	1,255,482	dias	
desv estandar	345,520	dias	
tiempo de entreg: media			
	2	dias	4
desv estandar			
	0.5	dias	0.5
tiempo de revision			
	1	dia	1
nivel de servicio			
	0.9		
Indice de diferencia en entregas			
0.50 media diferencia en entregasdias/demanda diaria			

demanda
durante periodo
de riesgo 3,766,447
z 1.28
sigma (T+L) 867,301
INV SEG 1,111,492

inv minimo	1,734,565	1.38159225	dias
------------	-----------	------------	------

inventario mínimo en viernes =

demanda
durante periodo
de riesgo 6,277,412
z 1.28
sigma (T+L) 995,480
INV SEG 1,275,759

inventario minimo en viernes	7,553,172	6.01615055	
inv max	15,450,000		

SAN JOSE DEL CABO

Inventario minimo

viernes

demanda diaria			
media	185,371	dias	
desv estandar	54,923	dias	
tiempo de ent media			
	2	dias	4
desv estandar			
	0.5	dias	0.5
tiempo de revision			
	1	dia	1
nivel de servicio			
	0.9		
Indice de diferencia en entregas			
0.62 media diferencia en entregasdias/demanda diaria			

demanda
durante
periodo de
riesgo 556,112
z 1.28
sigma (T+L) 132,816
INV SEG 170,211

inv minimo	285,141	1.53821868	dias
------------	---------	------------	------

inventario mínimo en viernes =

demanda
durante
periodo de
riesgo 926,853
z 1.28
sigma (T+L) 153,861
INV SEG 197,181

inventario minimo en viernes	1,124,034	6.06371049	
inv max	2,500,000		

CALCULO DE INVENTARIOS

GUADALAJARA

Inventario minimo

viernes

demanda diaria			
media	828,534	dias	
desv estandar	70,806	dias	
tiempo de entreg: media	2	dias	4
desv estandar	0.5	dias	0.5
tiempo de revision	1	dia	1
nivel de servicio	0.9		
Indice de diferencia en entregas			
0.54 media diferencia en entregas/diarias/demanda diaria			

demanda
durante periodo
de riesgo 2,485,603
z 1.28
sigma (T+L) 432,039
INV SEG 553,680

	dias
inv minimo	1,001,089 1.20826475

inventario minimo en viernes =

demanda
durante periodo
de riesgo 4,142,672
z 1.28
sigma (T+L) 443,491
INV SEG 568,357

inventario minimo en viernes	4,711,029	5.6859789
inv max	13,000,000	

HERMOSILLO

Inventario minimo

viernes

demanda diaria			
media	169,987	dias	
desv estandar	53,593	dias	
tiempo de entreg: media	2	dias	4
desv estandar	0.5	dias	0.5
tiempo de revision	1	dia	1
nivel de servicio	0.9		
Indice de diferencia en entregas			
0.60 media diferencia en entregas/diarias/demanda diaria			

demanda
durante periodo
de riesgo 509,961
z 1.28
sigma (T+L) 125,859
INV SEG 161,295

	dias
inv minimo	263,287 1.5488666

inventario minimo en viernes =

demanda
durante periodo
de riesgo 849,936
z 1.28
sigma (T+L) 146,918
INV SEG 188,283

inventario minimo en viernes	1,038,219	6.10763283
inv max	1,800,000	

CALCULO DE INVENTARIOS

MÉRIDA

Inventario minimo

viernes

demanda diaria			
media	127,346	dias	
desv estandar	22,843	dias	
tiempo de entrega: media	2	dias	4
desv estandar	0.5	dias	0.5
tiempo de revision	1	día	1
nivel de servicio	0.9		
Indice de diferencia en entregas 0.81 media diferencia en entregas diarias/demanda diaria			

demanda durante periodo de riesgo 382,039
z 1.28
sigma (T+L) 74,965
INV SEG 96,071

	días
inv minimo	199,221 1.56440759

inventario mínimo en viernes =

demanda durante periodo de riesgo 636,731
z 1.28
sigma (T+L) 81,629
INV SEG 104,612

inventario minimo en viernes	741,343	5.82147557
inv max	2,400,000	

TIJUANA

Inventario minimo

viernes

demanda diaria			
media	528,061	dias	
desv estandar	60,456	dias	
tiempo de entrega: media	2	dias	4
desv estandar	0.5	dias	0.5
tiempo de revision	1	día	1
nivel de servicio	0.9		
Indice de diferencia en entregas 0.52 media diferencia en entregas diarias/demanda diaria			

demanda durante periodo de riesgo 1,584,182
z 1.28
sigma (T+L) 284,036
INV SEG 364,007

	días
inv minimo	553,291 1.04777979

inventario mínimo en viernes =

demanda durante periodo de riesgo 2,640,303
z 1.28
sigma (T+L) 296,625
INV SEG 380,140

inventario minimo en viernes	3,020,444	5.7198804
inv max	6,000,000	

CALCULO DE INVENTARIOS

MONTERREY

Inventario minimo

viernes

demanda diaria			
media	453,681	dias	
desv estandar	64,261	dias	
tiempo de ent media	2	dias	4
desv estandar	0.5	dias	0.5
tiempo de revision	1	día	1
nivel de servicio	0.9		
Indice de diferencia en entregas			
0.75 media diferencia en entregasdias/demanda diaria			

demanda
durante
periodo de
riesgo 1,361,044
z 1.28
sigma (T+L) 252,676
INV SEG 323,818

		dias
inv minimo	664,079	1.46375537

inventario minimo en viernes =

demanda
durante
periodo de
riesgo 2,268,407
z 1.28
sigma (T+L) 268,522
INV SEG 344,125

inventario minimo en vierre	2,612,532	5.7585174
inv max	2,800,000	

Falta página

N° 74

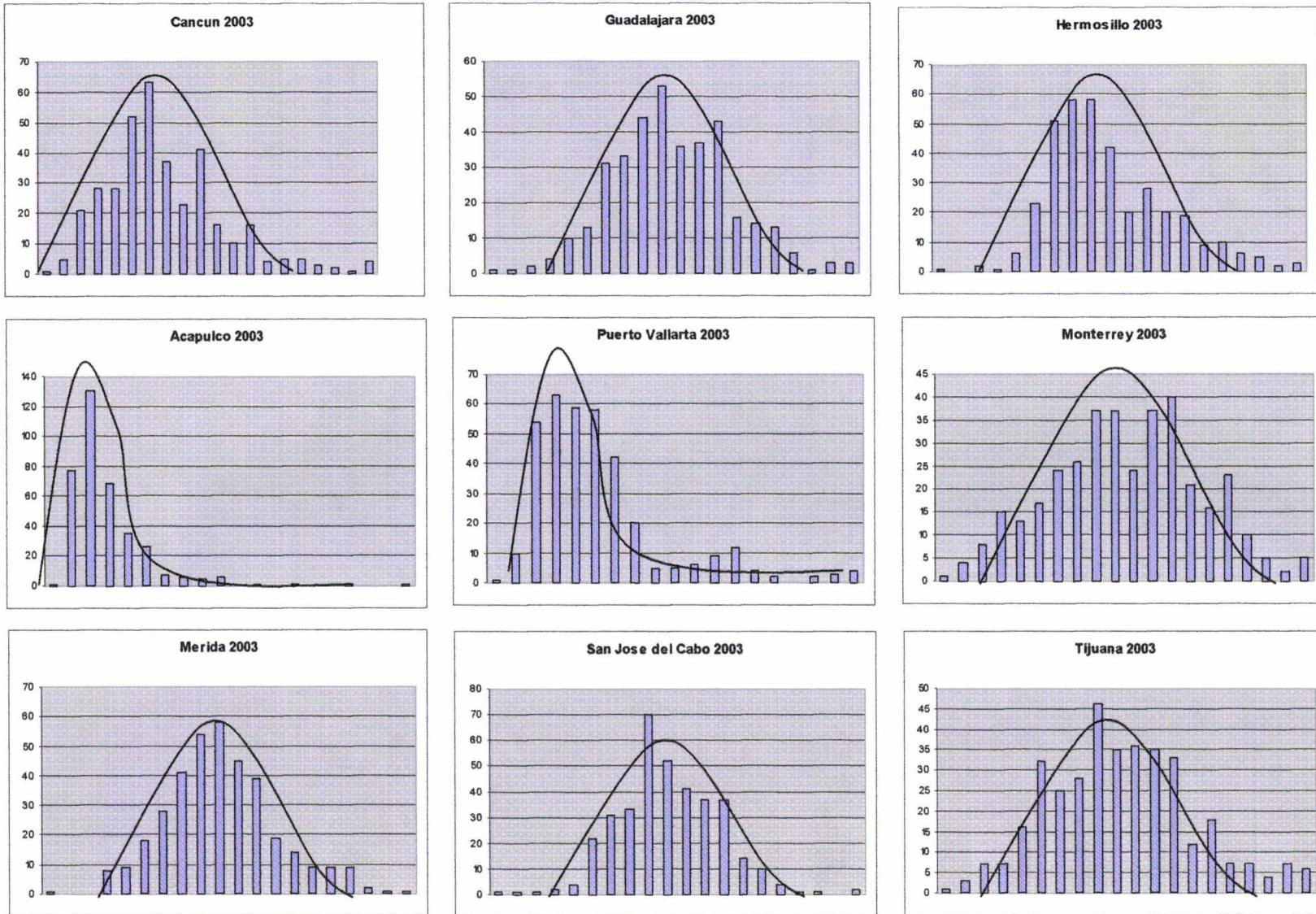


Fig. IV.1 Histogramas de las demandas de los 9 aeropuertos

ANEXO V

Glosario de las abreviaciones de los aeropuertos.

<u>SIGLA</u>	<u>AEROPUERTO</u>	<u>SIGLA</u>	<u>AEROPUERTO</u>
ACA	Acapulco	MXL	Mexicali
AGS	Aguascalientes	MZT	Mazatlán
CEN	Ciudad Obregón	MEX	Cd. de México
CJS	Ciudad Juárez	NOG	Nogales
CLQ	Colima	NLD	Nuevo Laredo
CME	Ciudad del Carmen	OAX	Oaxaca
COP	Copalar	PCA	Pachuca
CPE	Campeche	PAZ	Poza Rica
CTM	Chetumal	PBC	Puebla
CUL	Culiacán	PXM	Puerto Escondido
CUU	Chihuahua	PVR	Puerto Vallarta
CUN	Cancún	QET	Querétaro
CVJ	Ciudad Victoria	REX	Reynosa
CVM	Cuernavaca	SJD	San José del Cabo
CZM	Cozumel	SZT	San Cristóbal
DGO	Durango	SLP	San Luis Potosí
GDL	Guadalajara	TAM	Tampico
GTO	Guanajuato	TMN	Tamuín
GYM	Guaymas	TAP	Tapachula
HMO	Hermosillo	TCN	Tehuacan
HUX	Huatulco	TNY	Tepic
LAP	La Paz	TIJ	Tijuana
LZC	Lázaro Cardenas	TLC	Toluca
LTO	Loreto	TRC	Torreón
LMM	Los Mochis	TGZ	Tuxtla Gutiérrez
MAM	Matamoros	UPN	Uruapan
MID	Mérida	VER	Veracruz
MLM	Morelia	VSA	Villa Hermosa
MTT	Minatitlán	ZAC	Zacatecas
MTY	Monterrey	ZIH	Zihuatanejo
		ZLO	Manzanillo

Agradecimientos

A mis hijos Román y Ana Sofía, por aguantarme mientras estudiaba y mientras hacia la tesis.

A Román por apoyarme y por apresurarme.

A mi familia.

A Ríos, por tenerme paciencia.

A todos los profesores involucrados en el proceso de la maestría y la tesis.

A la UNAM, porque otra vez me enseñó a través de las clases, su gente y su entorno.