

Optimización de las rutas de reparto de helado de la empresa Fricongelados Citlaltépetl

Ing. Eduardo Roldán Reyes

*Instituto Tecnológico de Orizaba
Departamento de Ing. Administrativa
Orizaba, Veracruz, México
akemati@hotmail.com*

M.C. Constantino Gerardo Moras Sánchez

*Instituto Tecnológico de Orizaba
Departamento de Ingeniería Industrial
Orizaba, Veracruz, México
t_moras@yahoo.com.mx*

Dr. Alberto Alfonso Aguilar Lasserre

*Instituto Tecnológico de Orizaba
Departamento de Ingeniería Industrial
Orizaba, Veracruz, México
aaguilar@itorizaba.edu.mx*

Resumen

El presente artículo muestra la utilización de la simulación como una herramienta para el mejoramiento de la logística en la empresa Fricongelados Citlaltépetl en Orizaba, Veracruz, México. Dicha empresa se dedica a la distribución de helado de la marca Holanda® dentro de la zona centro del estado de Veracruz. A través de la simulación, utilizando el software Promodel®, se realizó un modelo representativo del sistema real de reparto del helado, y a partir de este modelo se realizó otro con las mejoras propuestas para optimizar la entrega del producto y con ello incrementar la productividad de la distribuidora. Para llevar a cabo el estudio de simulación se empleó la metodología propuesta por Law y Kelton (2000) que se desarrolla a lo largo del presente artículo.

Palabras clave

Simulación, Promodel, Pruebas de bondad de ajuste, Problema del agente viajero.

Introducción

La empresa "Fricongelados Citlaltépetl", ubicada en la ciudad de Orizaba, Veracruz, se dedica a la distribución de helado de la marca Holanda® para la zona centro de dicho estado. A partir de hace algunos años ha buscado la manera de optimizar el reparto del helado, pero no se habían realizado estudios que le ayuden a optar por una solución al problema.

Mediante el uso de la simulación, fue posible mostrar a la empresa un modelo representativo de su sistema de reparto actual en el cual se analizaron algunas alternativas que demostraron optimizar el uso de los recursos y la disminución de costos, incrementando así la productividad de la distribuidora.

Logística

En primer lugar es necesario entender a la logística como aquella función que se encarga de distribuir de manera eficiente los productos de una determinada empresa con un menor costo y un excelente servicio al cliente .

Bajo este enfoque, según Parra (1999), la logística busca gestionar estratégicamente la provisión, el almacenamiento y movimiento de productos, así como todo el flujo de información que se encuentre asociado. Se observa en las empresas que las entregas a tiempo, disminución de costos, reducción de distancias, son algunos de los muchos rubros en los cuales es fundamental tener un buen control, para así asegurar que dichas empresas mantengan las líneas de distribución de sus productos en una posición competitiva dentro del mercado.

Simulación

En general, la simulación tiene que ver con el estudio de sistemas dinámicos en el tiempo (Coss, 1990). El analista diseña modelos de simulación para observar características en el sistema real y con ellos recolectar información. Una ventaja de la simulación es que se puede construir un modelo representativo de un sistema y experimentar con él de manera que se efectúen cambios que busquen mejorar el proceso mismo, sin que se afecte al sistema real. Se utilizó Promodel, un simulador con animación integrada (Promodel, 1999), para realizar el estudio.

La empresa “Fricongelados Citlaltépetl”

La distribuidora “Fricongelados Citlaltépetl” es una empresa que posee actualmente la concesión del grupo Unilever® para la distribución de helado de la marca Holanda® en la zona centro del estado de Veracruz.

Proceso de distribución de helado

El proceso de reparto del producto se realiza de la siguiente forma: como inicio, se tiene a un preventista (un empleado en automóvil que va tomando los pedidos de cada punto de venta del helado, con el apoyo de un organizador personal electrónico que le permite registrar cada orden) que recorre de manera arbitraria los diferentes puntos ya identificados según cada día de la semana y anota las órdenes de cada cliente que visita.

Al día siguiente, un repartidor a bordo de una camioneta marca Ford® modelo F-350 surte del producto a los clientes que fueron registrados por el preventista, y de esta manera lo realiza para los demás días de la semana. La secuencia del proceso de distribución que realiza el repartidor en la camioneta Ford F-350 consta de nueve pasos tal como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Sistema de distribución de helado

Definición del problema

La definición del problema es el primer paso de la metodología de la simulación según Law y Kelton (2000). En primera instancia se pudo observar que no hay una planeación eficiente de la ruta para llevar a cabo el reparto del helado, y con ello se derivan los siguientes problemas:

- La entrega del helado se efectúa principalmente a criterio y con la experiencia del repartidor.
- Generalmente existe un mayor gasto en el empleo de recursos al no seguir una mejor ruta.
- No hay control en el recorrido que sigue el repartidor en un día de trabajo.
- Frecuentemente se pierde demasiado tiempo en espera del repartidor por un incorrecto plan de visita a los clientes.

Recolección de los datos del sistema

Se obtuvieron datos mediante observación de campo, durante un periodo de dos meses, subiéndose un observador a bordo de la camioneta Ford® F-350 repartidora y registrando todas las actividades desde el inicio hasta el final del día. Los datos observados fueron los siguientes:

- Tiempos de servicio a los clientes en cada uno de los puntos de venta.
- Vialidad recorrida por el repartidor.
- Puntos de aparcamiento específicos.
- Kilometraje recorrido registrado en el odómetro de la camioneta Ford® F-350.

Además hubo información muy valiosa para el análisis y que fue proporcionada por la empresa distribuidora, la cual fue:

- Clientes atendidos por cada día de la semana.
- Bitácoras del consumo mensual de gasolina.
- Costos por el uso y mantenimiento de la camioneta.
- Ventas de helado en pesos realizadas a los clientes en cada punto de venta.

Para construir el modelo de simulación en Promodel del sistema actual se empleó toda la información anterior, además de una serie de elementos que fueron necesarios, tales como:

- Plano actual de la ciudad de Orizaba, Veracruz, importado a Promodel.
- Localización de la distribuidora en el plano de Orizaba.
- Localización en el plano de Orizaba de 84 clientes (puntos de venta) correspondientes al reparto realizado en los días de la semana.
- Información acerca de las características de la camioneta repartidora marca Ford® Modelo F-350 con capacidad para 3 toneladas.
- Datos registrados por la persona que se subió a la camioneta Ford® durante un periodo de dos meses, para observar todo lo relacionado con la distribución del helado en todos los puntos de venta.

Análisis estadístico de los datos recolectados del sistema

Para la realización del análisis estadístico de los tiempos de servicio en los puntos de venta, se utilizó el programa Stat:Fit que incorpora Promodel® en las herramientas desplegadas en su menú inicial. En dicho programa se aplicaron las pruebas de bondad de ajuste Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling a todos los datos recolectados para determinar a qué distribución de probabilidad teórica conocida (e.g. uniforme, exponencial, normal, etc.) se ajustaba dicha información. Se empleó un nivel de significancia de 0.05. La mayoría de los tiempos observados se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas, las cuales fueron introducidas en el modelo de simulación. Para los tiempos que no se ajustaron a ninguna distribución teórica conocida, se utilizaron distribuciones empíricas definidas por el usuario, las cuales también fueron incorporadas al modelo del sistema actual.

Medidas de desempeño evaluadas

En la simulación se analizaron las siguientes medidas de desempeño para la camioneta repartidora: distancia recorrida, el tiempo de recorrido, el costo por el uso de la misma y la utilidad generada por ella.

Construcción del modelo de simulación

Después de realizar el análisis estadístico de la información, se construyeron dos modelos de simulación en Promodel®. El primero representando la situación actual del proceso de distribución de helado y el segundo simulando las alternativas de mejora.

Para efectos de la modelación, primeramente se importó el mapa de la ciudad de Orizaba, en el layout de Promodel®, como se muestra en la figura 2. En el mapa se localizaron 84 locaciones, correspondientes a los clientes que la camioneta repartidora visita en la semana. Posteriormente, se trazaron las trayectorias que la camioneta debe seguir, iniciando desde la distribuidora y conectando cada uno de los clientes entre sí, respetando la vialidad de las calles, y por último se asignó una entidad representando a la camioneta repartidora. Teniendo ya todos los elementos del sistema representados en el modelo, se efectuó la programación de la lógica de

proceso, y para ello se utilizaron arreglos de datos importados desde una hoja de cálculo en Excel® hacia Promodel®, en la cual se proporciona la información de los clientes que debe visitar, y entonces esta información es procesada. Al ejecutarse la simulación la camioneta puede seguir un orden de visita introducido por el usuario.

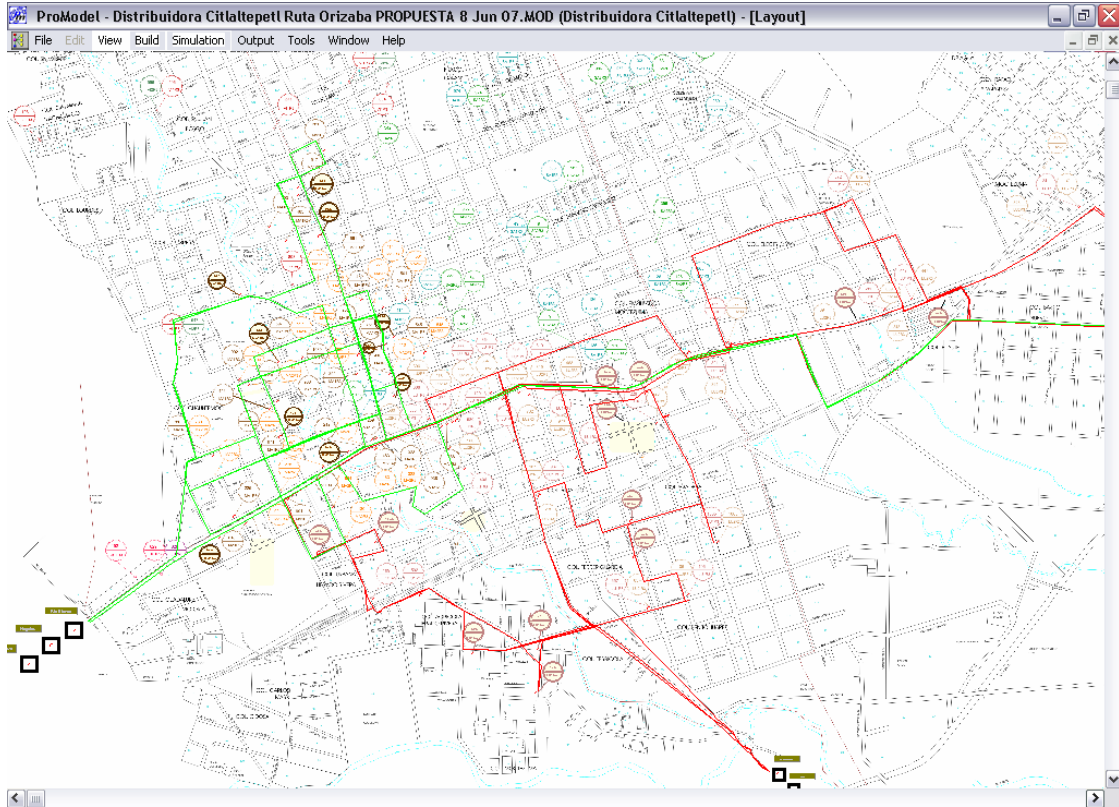


Figura 2. Layout del Modelo del sistema de distribución de helado.

Validación del modelo de simulación

Para efectos de validar el modelo de simulación del sistema actual, se aplicó la prueba estadística “*t*-apareada”, siguiendo el método propuesto por Law y Kelton (2000), a los tiempos de servicio en los puntos de venta, con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$. La prueba *t*-apareada se describe a continuación.

Suponga que se recolectan m conjuntos de datos independientes del sistema y n conjuntos de datos del modelo. Sea X_j el promedio de las observaciones en el j -ésimo conjunto del sistema, y Y_j el promedio de las observaciones en el j -ésimo conjunto de datos del modelo.

Las X_j son variables aleatorias IID con media $\mu_x=E(X_j)$, y las Y_j son variables aleatorias IID (asumiendo que los n conjuntos de datos se obtuvieron de replicaciones diferentes) con media $\mu_y=E(Y_j)$, por lo que se tratará de comparar el modelo con el sistema construyendo un intervalo de confianza para:

$$Z = \mu_x - \mu_y$$

Usando la prueba *t*-apareada (se requiere que $m=n$). Las fórmulas que se usan son las siguientes:

$$Z_i = X_i - Y_i$$

$$\bar{Z}_{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n}$$

$$\hat{V}ar [\bar{Z}_{(n)}] = \frac{\sum_{i=1}^n [Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2}{n(n-1)}$$

El intervalo de confianza es $(100(1- \alpha))$:

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\hat{V}ar(\bar{Z}_{(n)})}$$

Sea $l_{(\alpha)}$ y $u_{(\alpha)}$ el límite de confianza inferior y superior respectivamente. Si $0 \notin [l_{(\alpha)}, u_{(\alpha)}]$ entonces la diferencia observada entre μ_x y μ_y :

$$\bar{X}_{(n)} - \bar{Y}_{(n)}$$

Se dice que es estadísticamente significativa al nivel α . Esto es equivalente a rechazar la hipótesis nula:

$$H_o : \mu_x = \mu_y$$

En favor de la alternativa:

$$H_1 : \mu_x \neq \mu_y$$

Si $0 \in [l_{(\alpha)}, u_{(\alpha)}]$, cualquier diferencia observada entre μ_x y μ_y no es estadísticamente significativa al nivel α y puede ser explicada por fluctuaciones aleatorias, aceptando así que el modelo es válido.

Al aplicar la prueba t -apareada, usando como medida de desempeño el tiempo de servicio de la camioneta en cada punto de venta, se observó la inclusión del cero en el intervalo de confianza, por lo que se comprobó la validez del modelo de simulación.

Diseño de experimentos

Para la determinación del número óptimo de replicaciones, se aplicó la fórmula que sugiere Law y Kelton (2000):

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2_{(n)}}{i}} \leq \beta \right\}$$

Como medida de desempeño se seleccionó el tiempo promedio de servicio en los puntos de venta, con un error absoluto $\beta=0.04$ minutos. Al momento de aplicar la fórmula, el valor de i fue variando desde 6 hasta 14, con una desviación estándar de

0.064 minutos. Se obtuvo entonces que el número óptimo de corridas de simulación fue de 14.

Alternativas de mejora

Se plantearon tres propuestas para mejorar el sistema de distribución de helado, las cuales fueron analizadas y evaluadas en Promodel® mediante la construcción de un nuevo modelo de simulación.

La primera de ellas consistió en la sustitución de la camioneta Ford® Modelo F-350 con una capacidad de carga de 3 toneladas y un rendimiento de 2275 metros por litro de gasolina, por el modelo F-250 con una capacidad de 2 toneladas y un rendimiento de casi 4800 metros por litro de gasolina.

La segunda alternativa analizada fue determinar la secuencia óptima de visita mediante la aplicación del problema del agente viajero. Dicha solución contempla el encontrar la mejor ruta que minimiza la distancia total recorrida por el repartidor, visitando un número determinado de clientes, una sola vez cada uno de ellos, partiendo y regresando de un mismo punto (la distribuidora). Para ello se hizo uso del programa informático Invop, de distribución libre en internet (<http://members.tripod.com/~operativa/invop/Invop.html>, 2007), que proporciona solución al problema del agente viajero.

Por último, la tercera mejora consistió en la aplicación simultánea de las dos alternativas anteriores: cambio de la camioneta Ford® F-350 por la camioneta Ford® F-250 y determinación de la secuencia óptima de visita aplicando el problema del agente viajero. Con los dos modelos, uno simulando el proceso actual y el otro simulando las tres alternativas, evaluadas una a la vez, se buscó hacer más eficiente el sistema de reparto y por consecuencia incrementar la productividad de la empresa.

Análisis de resultados del sistema actual comparado con las alternativas

El programa de simulación que representó al sistema actual fue corrido 14 veces. De la misma forma, cada una de las tres alternativas evaluadas se corrió 14 veces. A continuación se presenta cada alternativa comparando sus resultados con el modelo del sistema actual de la distribuidora de helados.

Análisis de resultados de la primera alternativa: Cambio en la camioneta repartidora F-350 por la F-250

Al cambiar la camioneta repartidora F-350 por la F-250 se obtuvo, como se muestra en la figura 3, una disminución considerable en el costo diario por el uso de la camioneta de casi un 56% al promediar las 14 corridas. A pesar de que la capacidad de la camioneta propuesta modelo F-250 es mucho menor, las dimensiones y la capacidad de carga son lo suficientemente adecuadas para llevar el producto hasta los clientes en un día de trabajo, teniendo un menor consumo de gasolina.

Otra de las ventajas que se percibieron por dicha sustitución es la facilidad de maniobra ya que al ser de menor tamaño la camioneta F-250 puede ser manejada y estacionada en lugares más estrechos, además de que se tiene un mejor desplazamiento en el centro de la ciudad. Por otro lado, al tener un menor tiempo en el desplazamiento, se observó una disminución en los tiempos de entrega del producto a los clientes. Durante el periodo de toma de datos fue notorio que la camioneta actual presenta complicaciones por la maniobrabilidad y esto demora el reparto del producto.

Por último, al utilizar una camioneta de mejor rendimiento se prevé una reducción en la emisión de contaminantes atmosféricos. Este es un aspecto importante ya que la política de la empresa considera de suma relevancia la preservación del medio ambiente.

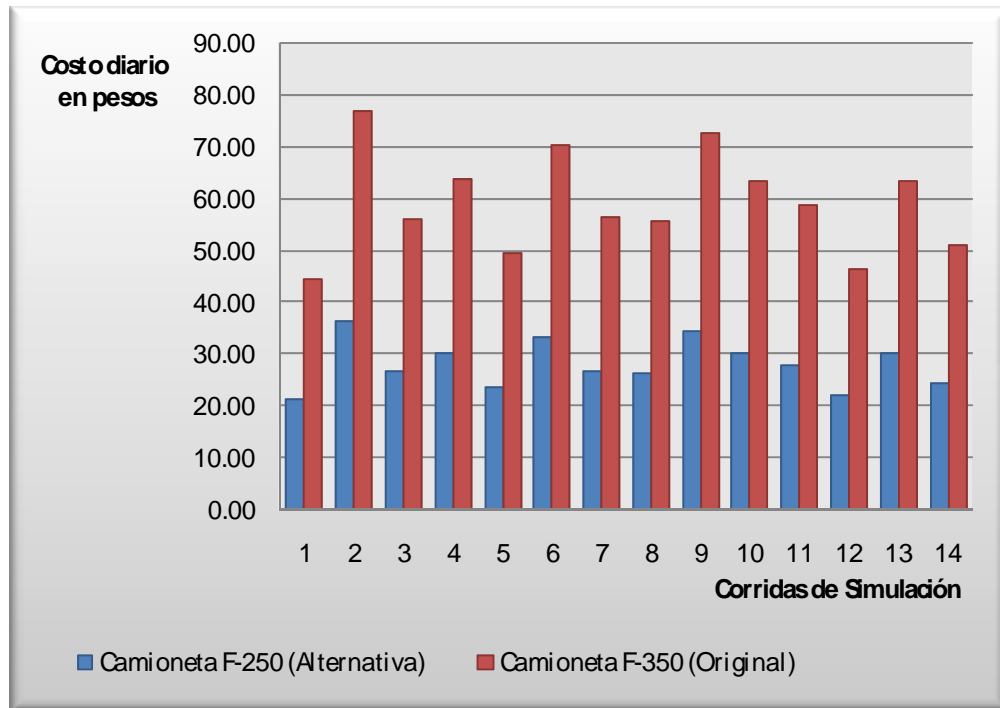


Figura 3. Análisis de los costos diarios de la primera alternativa: Cambio en la camioneta repartidora F-350 por la F-250.

Análisis de resultados de la segunda alternativa: Determinación de la secuencia óptima de visita aplicando el problema del agente viajero.

La secuencia óptima de visita se pudo determinar mediante el empleo del programa Invop, que analiza problemas de programación lineal y además proporciona la solución para el problema del agente viajero. Dicho problema consiste en determinar cuál debe ser la secuencia óptima de visita de la camioneta repartidora, visitando a cada punto de venta una sola vez, y saliendo y regresando del mismo punto que en este caso es la distribuidora, minimizando la distancia total recorrida.

Al introducir la información de los clientes al modelo de simulación que evalúa esta segunda alternativa, se pudo comparar la distancia diaria que recorre la camioneta en el sistema actual con la distancia obtenida por la secuencia óptima de visita. Además, se calculó el costo diario por el uso de la camioneta dividiendo la distancia total recorrida entre el rendimiento de la camioneta actual (2275 metros/litro), multiplicando este resultado por el precio de la gasolina (\$5.77 pesos/litro cuando este estudio se llevaba a cabo).

Después de correr el modelo de la segunda alternativa 14 veces, se puede notar en la figura 4 una reducción en las distancias de hasta un 30% en promedio, por lo que realmente se considera adecuado utilizar la solución del problema del agente viajero para programar cada día el orden de visita que debe recorrer la camioneta repartidora.

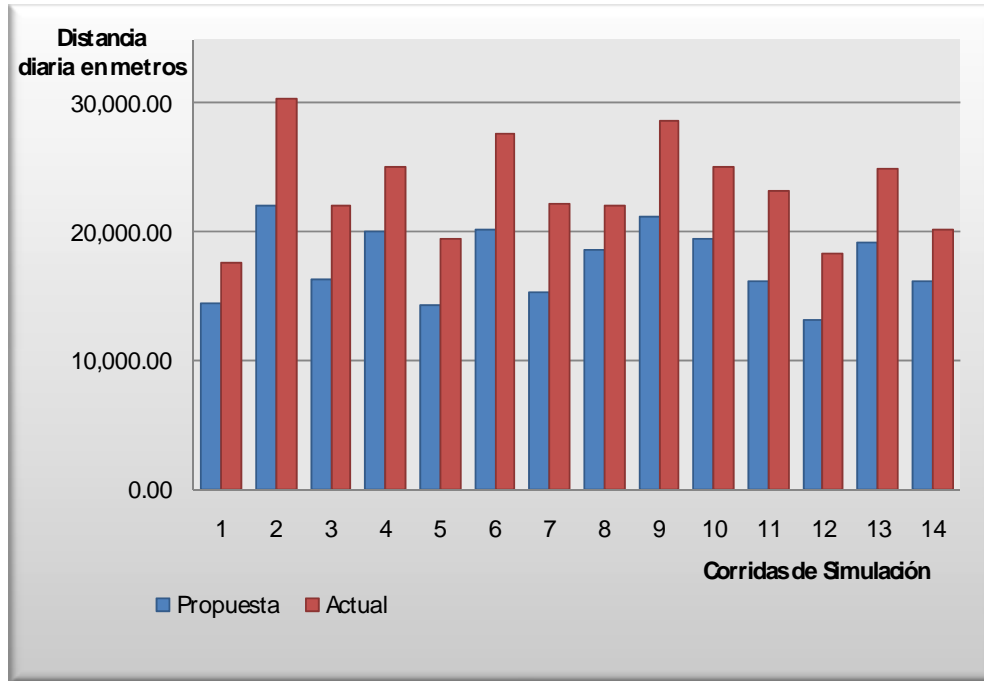


Figura 4. Análisis de las distancias diarias en metros de la segunda alternativa: Determinación de la secuencia óptima de visita aplicando el problema del agente viajero.

Se observa que al aplicar la solución que Invop da al problema del agente viajero existe una significativa reducción de los costos, distancias y del tiempo en que realiza los recorridos la camioneta repartidora, ya que efectúa la ruta de reparto en un menor tiempo al reducir la distancia total recorrida. La figura 5 compara los costos diarios en pesos del modelo del sistema actual con la segunda alternativa. Al promediar las 14 corridas, para la segunda alternativa se obtuvo una reducción en el costo diario de un 30% en promedio.

Análisis de resultados de la tercera alternativa: Cambio en la camioneta repartidora F-350 por la F-250 y determinación de la secuencia óptima de visita mediante la aplicación del problema del agente viajero.

Una tercera alternativa surge de la combinación de las dos primeras, ya que éstas no son mutuamente excluyentes. Puede analizarse ahora lo que ocurre si se aplican simultáneamente las dos alternativas evaluadas anteriormente, esto es utilizando la camioneta propuesta F-250, en lugar de la F-350, siguiendo el plan de visita arrojado por Invop encontrando la solución al problema del agente viajero.

Después de correr el modelo de la tercera alternativa 14 veces, y obteniendo el promedio de las 14 corridas, se nota una reducción en los costos de más del 60%, por lo que puede considerarse una excelente propuesta utilizar la combinación de las dos alternativas, es decir, usar la camioneta F-250 aplicando la solución al problema del agente viajero

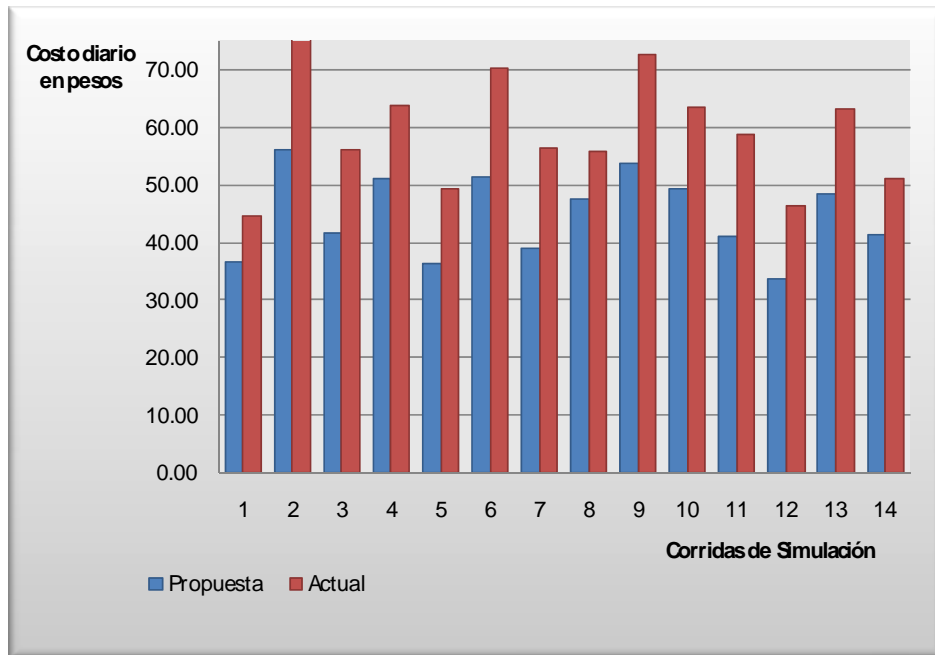


Figura 5. Análisis de los costos diarios de la segunda alternativa: Determinación de la secuencia óptima de visita aplicando el problema del agente viajero.

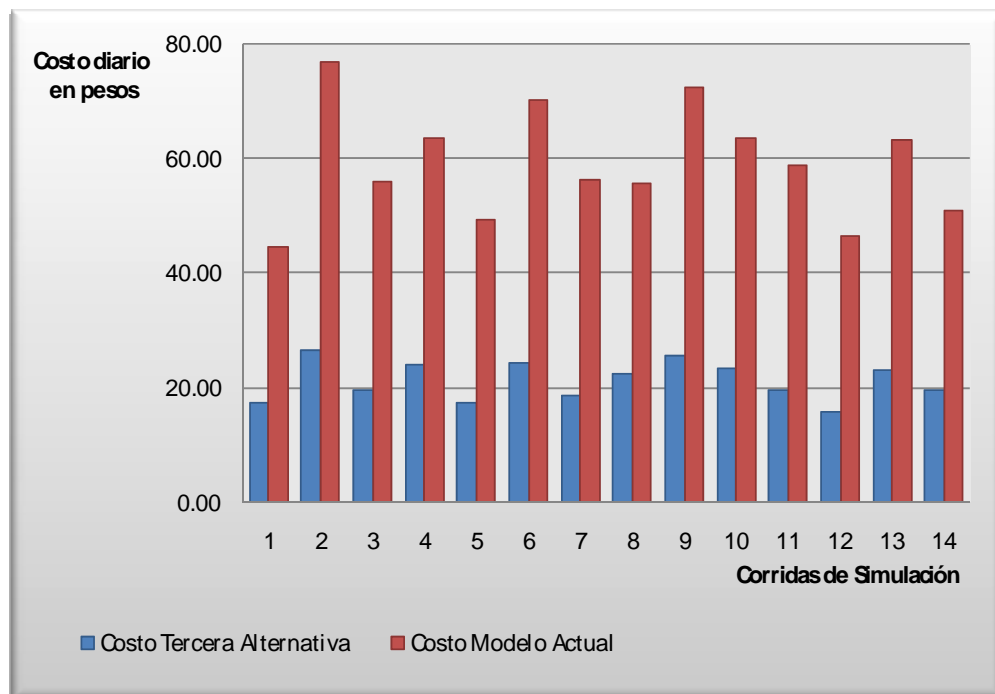


Figura 6. Análisis de costos de la tercera alternativa: Cambio en la camioneta repartidora F-350 por la F-250 y determinación de la secuencia óptima de visita mediante la aplicación del problema del agente viajero.

La figura 6 permite visualizar una significativa reducción de los costos y por ende las distancias y el tiempo en que realiza los recorridos la camioneta repartidora F-250, ya que efectúa la ruta de reparto en un menor tiempo al reducir el total de la distancia recorrida, y presenta un mayor rendimiento al tener un menor consumo de combustible.

Conclusiones del proyecto

El análisis de la primera alternativa consistió en sustituir la camioneta F-350 por el modelo F-250, la cuál presenta un mayor rendimiento. Al final se logró obtener una reducción en los costos en promedio de 56% con respecto al sistema actual.

La segunda alternativa, referente a la aplicación del programa Invop para resolver el problema del agente viajero, modificó el orden en que la camioneta repartidora lleva a cabo la visita a cada punto de venta, optimizando la secuencia de visita a los clientes al minimizar la distancia total recorrida. Esto significó una reducción en la distancia total recorrida de hasta un 30% y una reducción promedio en los costos diarios con la misma proporción.

En la tercera alternativa, que consistió en la aplicación simultánea de las dos primeras alternativas, se notó una reducción en el costo diario por uso de la camioneta repartidora de más de un 60% en promedio, por lo que se considera la mejor alternativa al presentar una enorme disminución en distancias, tiempos y costo.

Al realizar los análisis y evaluar estas mejoras en el modelo de simulación fue posible determinar que sí hubo una enorme mejoría en la repartición del helado. El proporcionar a la empresa un método con el cual se establece un mejor recorrido para realizar la entrega del producto a los diferentes clientes, promueve, además de una reducción en las distancias, tiempos y costos, un paso decisivo en la búsqueda de la mejora continua e incremento de la productividad de la distribuidora, asegurando con ello una posición competitiva dentro del mercado.

Los resultados de este estudio demuestran los beneficios obtenidos en una distribuidora de helados, mediante la aplicación de la simulación y del algoritmo del agente viajero. Sin embargo, este tipo de análisis puede ser llevado a cabo en otro tipo de distribuidoras para también obtener beneficios similares.

Referencias Bibliográficas

Coss Bu, Raúl, *Simulación. Un enfoque práctico*, Editorial Limusa, México, 1990.

<http://members.tripod.com/~operativa/invop/Invop.html>, consultada el 12 de mayo del 2007.

Law, Averill M. y David W. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill International Editions, U.S.A., 2000.

Parra Iglesias, Enrique, *Optimización del Transporte*, Editorial Díaz de Santos, México, 1999.

Promodel Corporation, *Promodel User's Guide*, Promodel Corporation, U.S.A, 1999.