APLICACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA BÚSQUEDA TABÚ AL PROBLEMA DE LA RUTA MÁS CORTA PARA UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA DE HARINA DE TRIGO

MÓNICA LILIANA CASTAÑEDA BARRIOS

ID: 69152

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL

FLORIDABLANCA

2009

APLICACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA BÚSQUEDA TABÚ AL PROBLEMA DE LA RUTA MÁS CORTA PARA UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA DE HARINA DE TRIGO

MÓNICA LILIANA CASTAÑEDA BARRIOS
ID: 69152

PROYECTO DE GRADO

Docente Sugerido
RUBÉN DARÍO JÁCOME CABRALES
Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
FLORIDABLANCA
2009

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme seguir adelante y ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presentan.

A mis padres por estar conmigo cada momento, especialmente a mi madre por apoyarme, por comprenderme, por quererme, a ella gracias, porque sin su esfuerzo no hubiese podido ser lo que soy ahora. Son a ellos a quien les debo todo, horas de consejos, de regaños, de reprimendas de tristezas y de alegrías de las cuales estoy muy segura que las han hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y de las cuales me siento extremadamente orgullosa.

A mi hermano y a mi cuñada Amparo, gracias por estar conmigo, por guiarme, por sus consejos, por su cariño.

A mi familia, amigos, profesores, gracias por tenerme tanta paciencia, a Darío gracias por estar conmigo en los momentos más difíciles, por su comprensión, por su ayuda en todo este proceso, eres una de las personas más importante en mi vida, gracias.

Solo se que este camino es solo el comienzo de una gran historia, de una gran lucha, en la que todos estarán ahí. Gracias.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN…….13

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA…….. …15

2. PROBLEMÁTICA DE LA EMPRESA..…….....17

3. MARCO DE REFERENCIA……..18

4. JUSTIFICACIÓN…….....27

5. OBJETIVOS…….28

5.1 OBJETIVO GENERAL……28

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS…….28

6. MARCO TEORICO……29

6.1 LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN……..29

6.2 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO…….30

6.3 METAHEURÍSTICAS……..31

6.3.1 Métodos metaheurísticos……32

6.3.2 Algoritmos Genéticos……..33

6.3.3 Recocido Simulado……..34

6.3.4 Colonia de Hormigas……...34

6.3.5 BÚSQUEDA TABÚ……..36

6.3.5.1 Características de la Búsqueda Tabú……37

6.3.5.2 Metodología de la Búsqueda Tabú……41

6.3.5.3 Algoritmo de la Búsqueda Tabú Simple……43

7. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE DE LA EMPRESA.....44

7.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN……44

7.1.1 Proceso de despacho……..45

7.1.2 Descripción del sistema de carga……..46

7.1.3 Tiempos de carga……46

7.2 ANÁLISIS DE LA RUTA ACTUAL DE LA EMPRESA……...46

7.2.1 Clientes……..46

7.2.2 Rutas actuales……..49

7.2.3 Combustible……..49

7.3 RECOLECCIÓN DE DATOS……50

7.3.1 Kilómetros recorridos……..51

7.3.2 Tiempos de descarga……..51

7.3.3 Formato de toma de mediciones……...52

8. DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE……54

8.1 IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE DE DECISIÓN……...54

8.2 IDENTIFICACIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO……...54

8.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS RESTRICCIONES……..55

8.4 MODELO MATEMÁTICO……...55

9. IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS……58

9.1 VISUAL BASIC 6.0……..58

9.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS……59

9.2.1 Aplicación del algoritmo Búsqueda Tabú……59

9.2.2 Aplicación del algoritmo Búsqueda Tabú y el método Clarke and Wright……..64

9.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS……....67

CONCLUSIONES……69

BIBLIOGRAFIA……71

ANEXOS……...73

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Clientes de distribución……..47

Tabla 2. Rutas actuales en función a los lugares…….....49

Tabla 3. Rutas de clientes……50

Tabla 4. kilómetros recorridos……..51

Tabla 5. Tiempos de descarga……51

Tabla 6. Modelación matemática…….....54

Tabla 7. Rutas nuevas de entrega……..64

Tabla 8. Combinaciones de rutas……66

Tabla 9. Comparación del algoritmo Búsqueda Tabú y el método Clarke and Wright……..66

Tabla 10. Comparación de rutas……67

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Problema del Agente Viajero……...30

Figura 2. Comportamiento de las Hormigas reales……..35

Figura 3. Estructuras de la Búsqueda Tabú……..38

Figura 4. Componente de memoria de corto plazo de la búsqueda tabú……42

Figura 5. Algoritmo de la búsqueda tabú……43

Figura 6. Proceso de pedido……44

Figura 7. Proceso de despacho……...45

Figura 8. Formato de toma de mediciones……53

Figura 9. Modelo matemático……...56

Figura 10. Ingreso de datos……..59

Figura 11. Intercambio de clientes……..60

Figura 12. Comparación de distancias……...60

Figura 13. Estrategia de diversificación……..61

Figura 14. Solución aleatoria……61

Figura 15. Criterio de aspiración……..62

Figura 16. Combinación de clientes……62

Figura 17. Distancia total……..62

Figura 18. Criterio de parada……63

Figura 19. Exploración de vecindades……63

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Aplicaciones de Búsqueda Tabú……..74

Anexo B. Distancias entre los clientes de distribución…..……75

Anexo C. Programación Visual Basic 6.0……76

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: APLICACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA BÚSQUEDA TABÚ AL PROBLEMA DE LA RUTA MÁS CORTA PARA UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA DE HARINA DE TRIGO

AUTOR(ES): MÓNICA LILIANA CASTAÑEDA BARRIOS

FACULTAD: INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTOR(A): RUBÉN DARÍO JÁCOME CABRALES

RESUMEN

La necesidad de encontrar soluciones y algoritmos eficientes para los problemas de optimización ha generado a través de la historia un gran interés en diversas áreas debido a la complejidad que ésta presenta. Ante dicha realidad, muchos esfuerzos en investigación se han concentrado en desarrollar nuevas técnicas y procedimientos heurísticos, los cuales han tenido un gran auge, sin duda, debido a la necesidad de disponer de herramientas que permitan resolver problemas tales como los de optimización. El presente trabajo tiene como propósito buscar una solución alternativa en el diseño de las rutas de los vehículos para una empresa productora y distribuidora de harina de trigo, encontrando la secuencia de visita que deben realizar los vehículos desde el centro de distribución hacia los diferentes lugares de los clientes, de manera que se minimice el tiempo o la distancia total recorrida.

La metaheurística búsqueda tabú permite utilizar estrategias basadas en el uso de memoria para escapar de óptimos locales, en los que se puede caer al moverse de una solución a otra por el espacio de soluciones. De igual forma se presenta la herramienta de programación Visual Basic 6.0 para el manejo de la base de datos y la aplicación del algoritmo búsqueda tabú. Esté software permitió programar dichas distancias y rutas que fueron tomadas a lo largo del proyecto con el fin de obtener soluciones razonablemente buenas, proporcionando a la empresa un método con el cual se establece un mejor recorrido para realizar la distribución del producto a los diferentes clientes. Además, de lograr una reducción en las distancias total recorridas por los camiones de reparto; 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.

PALABRAS CLAVES: Metaheurística, Búsqueda Tabú, lista tabú, Problema del Agente Viajero, algoritmo.

OVERVIEW OF WORK DEGREE

TITLE: APLICATION OF THE METAHEURISTIC TABU SEARCH TO THE PROBLEM OF THE SHORTEST ROUTE FOR A DISTRIBUTING COMPANY OF WHEAT MEAL

AUTHOR: MÓNICA LILIANA CASTAÑEDA BARRIOS

FACULTY: INDUSTRIAL ENGINEERING.

DIRECTOR: RUBÉN DARÍO JÁCOME CABRALES

ABSTRACT

The need to find solutions and efficient algorithms for the problems of optimization has generated through the history a great interest in different areas due to the complexity that this presents. In front of this reality, many efforts in investigation have concentrated on developing new techniques and heuristic procedures, which have had a great prosperity, because of the need to dispose of tools that allow to solve problems such as optimization. This thesis has as purpose to look for an alternative solution in the design of the routes of the vehicles for a company producer and distributor of wheat meal, finding the sequence of the visit that the vehicles should follow from the distribution center toward the customer's different places, minimizing the time or the total distance.

The metaheuristic tabu search allows to use strategies based on the use of memory to escape from the local optimums, in which it could fall moving from one solution to another in the solution neighbourhood. In the same way it presents the Visual Basic 6.0 programming tool for the handling of the data base and the algorithm search tabu application. This software allowed to program the distances and routes recollected during the project with the objective to obtain reasonably good solutions, giving to the company a method to establish a better route to distribute the product to the different costumers. Besides, to achieve a reduction in the total distances travelled by the delivery trucks; a decisive step in the search of the continuous improvement and increment of the productivity of the distributor, assuring with it a competitive position within the market.

KEYWORDS: Metaheuristic, search tabu, tabu list, traveling salesman, algorithm

INTRODUCCIÓN

"*Desde hace varias décadas se ha venido intensificado la formulación de una gran variedad de problemas de optimización que requieren ser abordados con metodologías generales sin dejar de considerar explícitamente el universo de variables de decisión que cada situación involucra. Estos problemas no resultan ser tan difíciles de entender, pero sus esquemas de solución, a través de técnicas exactas, son apenas aplicables cuando el número de variables de decisión es relativamente pequeño, y en general gran parte de los problemas cotidianos no cumplen esta condición. Ante dicha realidad, muchos esfuerzos en investigación se han concentrado en desarrollar nuevas técnicas y procedimientos heurísticos, los cuales han tenido un gran auge, sin duda debido a la necesidad de disponer de herramientas que permitan resolver problemas tales como los de optimización*"[1]

Entre los problemas que pueden ser estudiados en la optimización es la teoría de grafos ya que ofrece un marco de referencia acertado para iniciar la construcción de un algoritmo conveniente a la situación específica que se va a abordar. Entre ellos se encuentra el problema del agente viajero, cuya finalidad es determinar la trayectoria más corta que debe seguir un agente que debe visitar todas las ciudades o clientes de una red, exactamente una vez cada uno, y regresar al final de la travesía a la ciudad o cliente inicial. De igual forma existen metaheurísticas que permiten resolver problemas de optimización, en los que los heurísticos clásicos no son efectivos. Los metaheurísticos proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos, combinando diferentes conceptos derivados de la inteligencia artificial, la evolución biológica y los mecanismos estadísticos.[2]

---

[1] Análisis comparativo de las aproximaciones heurísticas ant-q, recocido simulado y búsqueda tabú en la solución del problema del agente viajero. Disponible en: http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/14/analisis_comparativo_de_la_aproximaciones_heuristicas.pdf. Recuperado el 8 de septiembre de 2008.

[2] Metaheurísticos: una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones. Disponible en http://revista.eia.edu.co/articulos8/Art.8.pdf. Recuperado el 10 de septiembre de 2008

El objetivo de este trabajo es la aplicación de la metaheurística búsqueda tabú al problema del agente viajero TSP, en el diseño de las rutas de los vehículos de entrega del producto. Para este fin se desarrolló un algoritmo que representa esta metaheurística, buscando dar una solución y optimización al problema de las rutas de los vehículos.

Otro de los principales objetivos es realizar un análisis que permita identificar las mejores rutas y distancias por medio del algoritmo búsqueda tabú, aplicando estrategias de solución que ayuden a escapar de óptimos locales.

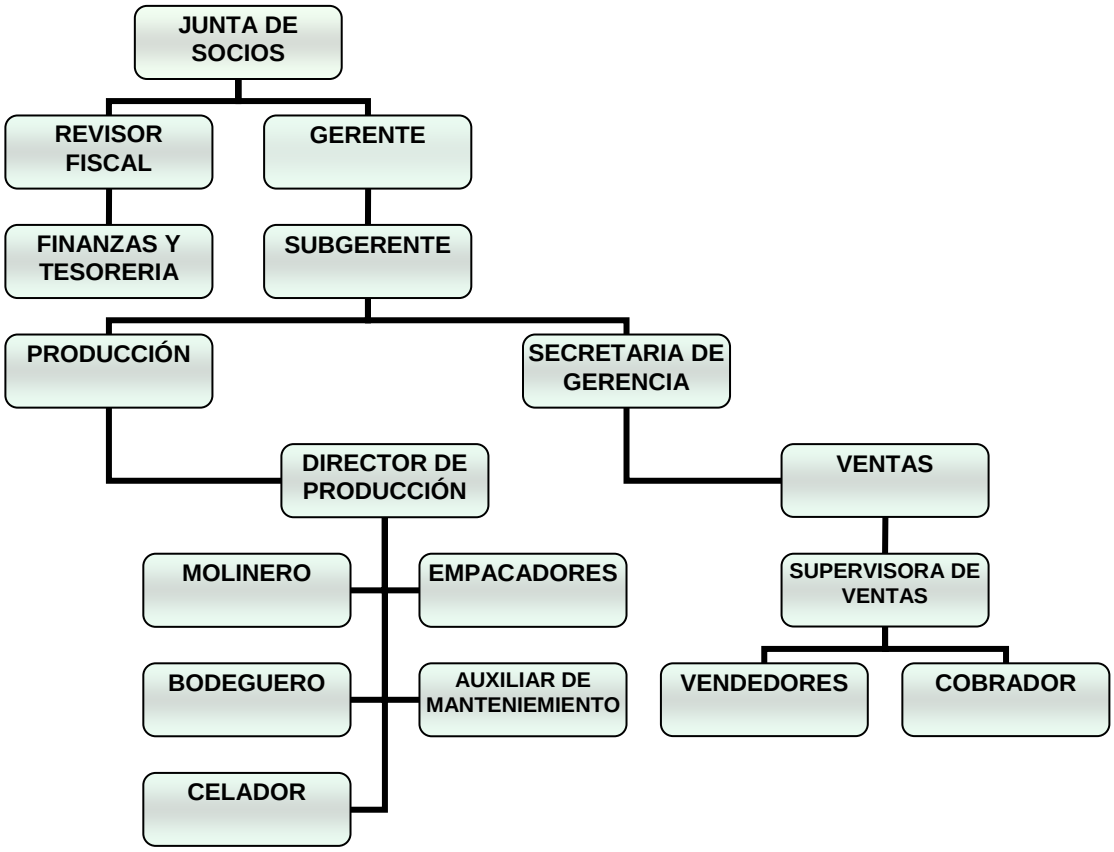
El proyecto inicialmente presenta una descripción general de la empresa y su problemática frente a la distribución de los productos, así como unos objetivos y un breve marco teórico para ubicar al lector en el tema a tratar en este proyecto; luego se realiza una pequeña descripción de algunos de los aspectos más importantes del algoritmo desarrollado y se muestra los datos y resultados obtenidos. Por último se presentan las conclusiones de este proyecto y se proponen algunas recomendaciones para la empresa.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

- Nombre de la empresa: Molino De Oriente S.A. de Bucaramanga.

- Actividad Económica / productos y servicios: Una empresa colombiana, dedicada a la producción y comercialización de Harina de trigo.

- Estructura Organizacional:



- Reseña Histórica: La creación de Molino de Oriente surgió como estrategia de integración vertical hacia atrás, puesto que sus socios fundadores poseen tradición en la industria panificadora. La promoción del proyecto fue desarrollada por Jorge Sierra Trillos quien era propietario de la Panadería San Cayetano ubicada en Bogotá

y en 1963 se asoció con sus familiares radicados en Bucaramanga que también tenían las Panaderías V.J. Trillos, la Sirena e Icopan, quienes se unieron al proyecto considerando la conveniencia para solucionar los problemas de consecución de materia prima para sus empresas. De esta forma, se contistuyó la sociedad limitada el 29 de Abril de 1963 y se adquirió un terreno en el municipio de Floridablanca (Santander) con el fin de instalar la maquinaria y el equipo para la producción de sémola y harina de trigo

La instalación del molino culminó en 1964 e inició la molienda en octubre 30 de ese año con la gerencia de Luís F. Trillos Navas, uno de sus socios. Realizada la etapa de adecuación industrial, la empresa presentó un periodo de desarrollo y crecimiento, adquiriendo con el tiempo la experiencia necesaria para establecerse como una industria competitiva dentro del mercado molinero de Santander donde es ampliamente reconocida su harina de trigo fortificada para panificación y sus subproductos, mogolla y salvado de trigo.

Molino de Oriente tiene una planta productora de Harina de trigo y otros productos, instalada en Floridablanca y con una sede administrativa ubicada en Bucaramanga, contando así con la capacidad necesaria para satisfacer la demanda del mercado en forma eficiente. Cuentan con los equipos de la más alta tecnología para garantizar que sus procesos se mantengan bajo control y entreguen productos que cumplan con las normas de calidad y seguridad industrial.

2. PROBLEMÁTICA DE LA EMPRESA

La vida moderna exige una movilidad cada vez mayor. El aumento de flujo vehicular y la creciente utilización de los vehículos particulares, implica, la multiplicación de la demanda de tráfico sobre las ya recargadas infraestructuras de transporte. Uno de los problemas que las empresas tienen que enfrentar a diario es el ruteo de vehículos que realizan desde un centro, recolección de basuras, entregas a domicilio o rutas de buses escolares. Las expectativas de los clientes abarcan no sólo el precio y la calidad de los productos o servicios, sino también en la rapidez, y eficiencia en la entrega del producto.

Molino de Oriente es una empresa que distribuye a muchas zonas de Bucaramanga y su Área Metropolitana, como lo son panaderías, depósitos y otras empresas que utilizan harina de trigo para sus procesos. Diseñar modelos de rutas para los vehículos de distribución es uno de los problemas que tiene que afrontar la empresa, lograr reducir los costos de transporte de los productos, como los costos de inventario, tener un mejor nivel de servicio en el diseño de las rutas que minimicen el tiempo y la distancia, o satisfacer los requerimientos de cada cliente.

Sin embargo, a menudo hay otros factores por considerar, algunos de los cuales no están bajo control de quien toma las decisiones. La competencia hace que se vuelva más difícil su planeación y distribución del producto, como aumentos o descensos en los niveles de inventario como resultado del tamaño del envío relacionado con el transporte, más rápido y menos costoso. Luego la empresa no cuenta con un programa que les proporcione un diseño adecuado en el manejo de las rutas y toma de decisiones.

MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se presenta el resumen de diez trabajos relacionados con el tema que han sido desarrollados por otros autores en otros escenarios. La similitud de estos documentos con el presente proyecto son básicamente tratar de resolver problemas de ruteo utilizando algoritmos o modelos metaheurísticos. En cada documento se describe los factores más importantes que sirvan de apoyo al presente.

Documento 1. Optimización de las rutas de reparto de helado de la empresa Fricongelados Citlaltépetl [3]

En este artículo se describe el diseño de las rutas de la empresa Fricongelados Citlatépetl, situada en la ciudad de Orizaba Veracruz, una empresa dedicada a la distribución de helados, por medio de dos camionetas marca Ford® modelo F-350 y la cual a partir de unos años ha buscado la manera de optimizar el reparto del helado, realizando varios estudios que le ayudaron a optar por una mejor solución al problema, puesto que la empresa no contaba con un sistema de diseño de las rutas para su distribución.

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.

El proceso de reparto del producto empieza por un preventista que se transporta por medio de una camioneta tomando el pedido de cada cliente, anotando cada orden, para luego ser distribuido por un repartidor a los clientes que fueron registrados por el preventista de toda la semana.

---

[3] Optimización de las rutas de reparto de helado de la empresa Fricongelados Citlaltépetl. Disponible en: http://academiajournals.com/downloads/RoldanMorasAquilar.pdf. Recuperado el 10 de Diciembre de 2008.

Para llevar a cabo el estudio de simulación se empleó la metodología propuesta por Law y Kelton (2000) y se utilizó el software Promodel, donde se realizó un modelo representativo del sistema real de reparto del helado, y a partir de ese modelo se realizó otro con las mejores propuestas para optimizar la entrega del producto.

Con la información recolectada se realizó un análisis estadístico de los tiempos de servicio en los puntos de venta, utilizando los programas que ofrece Promodel. Construyéndose 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. Planteando de está forma propuestas de mejora en el sistema de distribución del helado.

Documento 2. Aplicación de la Heurística de Spacefilling Curves en Problemas de Ruteo de Vehículos (VRP)[4]

En este artículo se describe el problema de ruteo de vehículos, que se presenta en la distribución y logística de las empresas, de igual forma se plantea y se analiza el problema del diseño de las rutas del servicio de transporte de niños de un colegio en la ciudad de Bogotá, utilizando un modelo metaheurístico como Spacefilling Curves que llega a soluciones aceptables, o razonablemente cortas, para el problema de ruteo de vehículos en tiempos pequeños, o la heurística Clarke and Wright que es capaz de incluir varias restricciones prácticas puesto que construye rutas y secuencias al tiempo, minimizando la distancia total recorrida.

En el modelo Spacefilling Curves se evalúa mediante las soluciones obtenidas a través de la descripción de las ubicaciones por medio de direcciones y geocoordenadas, para la heurística de Clarke and Wright se evalúan los resultados usando las mismas ubicaciones, y dos maneras de medir la distancia (distancia euclidiana, es decir, la distancia entre dos puntos cualesquiera que constituye el fundamento a partir del cual se determina el orden de rango en una configuración y distancia según la métrica del taxista)

[4] Aplicación de la Heurística de Spacefilling Curves en Problemas de Ruteo de Vehículos (VRP. Disponible en: http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/456/1/mi_1282.pdf. Recuperado el 12 de Diciembre de 2008.

porque esta heurística para su funcionamiento necesita poseer una medición de la distancia entre todos los puntos.

Los resultados que fueron obtenidos indican que la mejor solución, o por lo menos la más corta en todas las instancias, fue encontrada al usar la técnica heurística de Clarke and Wright con la definición de las ubicaciones por medio de geocoordenadas.

Documento 3. Logística y Distribución: Algoritmos para problemas de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad y ventanas de tiempo[5]

En este artículo se propone una metaheurística de Colonia de Hormigas para la resolución del Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de tiempo y Dependencia Temporal, encontrando las mejores rutas para una flota de vehículos que deben servir a un conjunto de clientes respetando sus horarios de entrega y considerando que el tiempo de viaje entre dos puntos depende del momento de salida, por medio de la metaheurística Colonia de Hormigas y de otras heurísticas que son explicadas alrededor del artículo.

Así mismo la importancia del transporte en el área de la logística y las decisiones claves que hay que tomar. Exceptuando el costo de las adquisiciones, tiempos y flota de transporte. Aunque las decisiones sobre el transporte se expresan en una variedad de formas, las principales son la determinación de la composición de la flota de vehículos, el diseño de las rutas y la programación de los vehículos.

La estrategia de ubicación es clave dentro de la planeación de la cadena suministro. Una ubicación favorable aparte de disminuir los costos de transporte puede producir un fuerte impacto en el servicio a los clientes. Por ejemplo al estar más próximos a los clientes se puede reducir el lead-time de entrega de la mercadería, responder más rápidamente a sus reclamos o aumentar la frecuencia de las visitas.

---

[5] Logística y Distribución: Algoritmos para problemas de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad y ventanas de tiempo. Disponible en: http://www.iosuperior.com.ar/files/ResumenEjecutivoTesisBalseiro.pdf. Recuperado el 21 de Diciembre de 2008.

La implementación del software GIS MapPoint® de Microsoft fue utilizado para la geocodificación y como módulo generador de distancias y tiempos, la determinación de los horarios de entrega de los clientes, pesos y medidas de los productos, etc.

Analizando a su vez los gastos en distribución y el alquiler del depósito, y en base de la información recolectada tanto de la empresa como de las rutas ya establecidas se analizó factores distintos como ventas, cantidad de entregas y volumen de la mercadería entregada; de esta manera, para cada localización alternativa se obtuvieron las rutas que potencialmente se hubieran recorrido.

Luego con las rutas se calcularon en cada caso los nuevos costos de transporte y salarios, permitiendo así estar más próximo a los clientes mejoraría la calidad del servicio, respondiendo más rápidamente a sus necesidades.

Documento 4. Análisis comparativo de las aproximaciones heurísticas Ant-Q, recocido simulado y búsqueda tabú en la solución del problema del agente viajero[6]

En este artículo se presenta una descripción y una comparación del desempeño de las heurísticas Ant - Q (una aproximación que se deriva del comportamiento de una comunidad de hormigas), Búsqueda Tabú (fundamentada en un fenómeno social de memoria dinámica) y Recocido Simulado (una metodología análoga al proceso recocido simulado). En la solución del problema estándar del agente viajero, objetivo para el cual se implementaron principios básicos y algoritmos computacionales de cada técnica y se resolvieron algunas instancias conocidas.

Se explica como en los últimos años la distribución de los productos ha sido uno de los problemas más grandes y complejos de las empresas, enfrentar los costos que se generan, los tiempos de entrega y las necesidades de los clientes. Ante dicha realidad, muchos esfuerzos en investigación se han concentrado en desarrollar nuevas técnicas y

[6] Análisis comparativo de las aproximaciones heurísticas Ant-Q, recocido simulado y búsqueda tabú en la solución del problema del agente viajero. Disponible en: http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/14/analisis_comparativo_de_la_aproximaciones_heuristicas.pdf. Recuperado el 20 de Diciembre de 2008.

procedimientos heurísticos, los cuales han tenido un gran auge, sin duda debido a la necesidad de disponer de herramientas que permitan resolver problemas tales como los de optimización. Pero para resolver un problema de optimización es necesario tener conocimiento acerca de la formulación matemática del mismo, además de su aspecto conceptual, con el fin de estudiar la existencia de métodos (y sus procedimientos, incluso algorítmicos) que permitan encontrar buenas soluciones y cómo han de ser implementados, si es posible.

Por último se afirma que las estrategias implementadas de acuerdo con cada filosofía descrita permiten determinar muy buenas soluciones a las distintas instancias en que se utilizó. A su vez la tecnología moderna, especialmente en el área informática, ha permitido mejoras en la planeación, diseño y control de la producción, ya que son herramientas de apoyo a las técnicas heurísticas y metaheurísticas que ayudan a solucionar problemas tan complejos como la programación de las operaciones en una línea de producción.

Documento 5. Investigación de operaciones en acción: Aplicación del TSP en problemas de manufactura y logística.[7]

En este artículo se describe como la investigación de operaciones se ha aplicado para muchos campos de la ingeniería y de las industrias, a tomar decisiones para beneficios económicos y normalmente, estas decisiones se encuentran restringidas de forma muy compleja. En los últimos años el impacto de las Investigación de operaciones en la industria ha sido impresionante, convirtiéndose en ganancias o ahorros en los diversos ramos industriales. Así mismo se pretende ilustrar la importancia de saber evaluar las ventajas y desventajas que surgen entre la obtención de soluciones de alta calidad contra los recursos empleados para obtenerla.

[7] Investigación de operaciones en acción: Aplicación del TSP en problemas de manufactura y logística. Disponible en: http://ingenierias.uanl.mx/4/pdf/4_Jose_L_Gonzalez_investigacion_de_operaciones.pdf. Recuperado el 12 de Diciembre de 2008.

Al igual describe el problema del agente viajero y sus aplicaciones para resolver el problema de programación de tareas que se presentan en la manufactura, y el del ruteo de vehículos en el ramo de la logística. Planteando algunas de las aplicaciones más importantes del TSP en varios tipos de industria. Señalando como este conlleva a un significativo avance en la operación óptima de las empresas o industrias donde se presentan este tipo de problemas.

Documento 6. Problemas de Planeación de Rutas Vehiculares y sus Aplicaciones[8]

El este artículo se describe el Problema del Agente Viajero y el Problema de Planeación de Rutas Vehiculares, debido a que los dos involucran el problema de las rutas. Además, hoy en día el transporte es uno de los inconvenientes más desafiantes en la industria, debido a los costos que se generan en la entrega o recolección de pedidos desde un depósito o almacén. Esto implica costos en el área logística tales como la inversión en la flota de transporte, el mantenimiento de ésta, la amortización, el combustible, seguros de los vehículos, etc. Es por ello que se han hecho diversos estudios, con el fin de proporcionar soluciones que permitan la minimización de costos.

Este artículo señala la importancia y descripción del TSP, sus variantes On-Line Travelling Salesman, Deadline-TSP, K-delivery TSP y en que consiste cada una. Al igual muestra el problema de Rutas Vehiculares, cuál es su objetivo y cuales son sus variantes. Por último señala cuales son las soluciones planteadas para estos problemas, trabajos en donde se han presentado reformulaciones en los problemas de las rutas de los vehículos y de itinerarios.

[8] Problemas de Planeación de Rutas Vehiculares y sus Aplicaciones. Disponible en: http://pisis.unalmed.edu.co/avances/archivos/ediciones/Edicion%20Avances%202008%203/16.pdf. Recuperado el 12 de Diciembre de 2008.

Documento 7. Investigación de operaciones en acción: Heurísticas para la solución del TSP[9]

La investigación de operaciones es una de los fundamentos más importantes que se presentan alrededor del artículo, al igual que el Problema del Agente Viajero, utilizando heurísticas para una solución óptima. Introduciendo al lector de que es el TSP por medio de ejemplos e imágenes.

Una de las características del TSP es el de pertenecer a una clase de problemas difíciles de resolver, es decir, hallar la solución óptima, por medio de heurísticas que puedan obtener soluciones factibles de alta calidad, estas metaheurísticas proporcionan marcos generales que permiten crear nuevos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de las heurísticas clásicas, la evolución biológica entre otras. Utilizando el método de búsqueda local, puesto que consiste en explorar una vecindad previamente definida para cada punto del espacio de soluciones y elige una nueva solución dentro de la vecindad, la cual mejora el valor que se tiene a mano, permitiendo que estos métodos sean relativamente rápidos en sus tiempos de ejecución y por ende, se convierten en una elección importante cuando el tiempo para encontrar una solución es la restricción más importante.

Documento 8. Introducción a la Búsqueda Tabú[10]

El este artículo se presenta una descripción de la metaheurística búsqueda tabú cuya característica distintiva es el uso de memoria adaptativa y de estrategias especiales de resolución de problemas. Más particularmente, La búsqueda tabú es una metaheurística que guía un procedimiento heurístico de búsqueda local en la búsqueda de optimalidad global. Su filosofía se basa en derivar y explotar una colección de

---

[9] Investigación de operaciones en acción: Heurísticas para la solución del TSP. Disponible en: http://ingenierias.uanl.mx/9/pdf/9_Roger_Rios_et_al_Investigacion_de_oper.pdf. Recuperado el 10 de Diciembre de 2008.

[10] Introducción a la Búsqueda Tabú. Disponible en: http://webpages.ull.es/users/mbmelian/TS_Spanish_GloverMelian(11-9-06).pdf. Recuperado el 10 de Diciembre de 2008.

estrategias inteligentes para la solución de problemas, basadas en procedimientos implícitos y explícitos de aprendizaje.

De igual forma explica como es su estructura y cuales son los fundamentos de la Búsqueda Tabú, entre ellos están, la memoria a corto plazo, búsqueda por entorno, los métodos de búsqueda en el entorno y búsqueda tabú, la memoria a largo plazo, las estrategias de intensificación y Diversificación simples, a través de ejemplos y modelos matemáticos para su solución.

Documento 9. Optimización de Ruteo de Vehículos Empleando Búsqueda Tabú[11]

En este artículo se describe el problema de ruteo de vehículos como uno de los problemas más analizados en la actualidad. Presentando una gran cantidad de técnicas, heurísticas y metaheurísticas que han sido empleadas para darle solución a este tipo de problemas, entre ellas Búsqueda Tabú. Pero muy pocas investigaciones en las que se emplea búsqueda tabú para la solución de problemas de ruteo se han dedicado al análisis del impacto de parámetros que conforman esta metaheurística.

Lo que busca este artículo es determinar que tan buenos son los resultados obtenidos para el problema de ruteo de vehículos, específicamente de TSP (Traveling Salesman Problem) y CVRP (Capacited Vehicle Routing Problem), cuando se emplea la metaheurística búsqueda tabú. Además presenta un análisis donde permite identificar factores que afectan de manera significativa los resultados de las metaheurísticas, factores como el tamaño de la lista tabú, tamaño de la población, número de iteraciones y estrategia de vecindad.

[11] Optimización de ruteo de vehículos empleando búsqueda tabú. disponible en: http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/775/1/MI_IIND_2005_022.pdf. recuperado el 23 de julio de 2009.

Documento 10. Búsqueda Tabú: Evitando lo Prohibido[12]

En este artículo se describe como las metaheurísticas permiten solucionar problemas que enfrentan las empresas en la vida diaria. Las técnicas heurísticas más conocidas hoy en día no hacen más que adaptar ideas conocidas desde hace mucho tiempo en otras disciplinas. Por ejemplo, los algoritmos genéticos emulan los mecanismos de la evolución; los métodos de flujo de redes se fundamentan en ideas de la electricidad y la hidráulica, y el "enfriamiento simulado" (simulated annealing) se basa en un proceso físico de la industria metalúrgica.

Similarmente, la técnica conocida como búsqueda tabú se basa en ciertos conceptos tomados de la Inteligencia Artificial y se utiliza como una metaheurística (o una heurística de "alto nivel") para resolver problemas de optimización combinatoria, como se constituye a corto plazo y largo plazo, cuales son sus fundamentos básicos para desarrollar esta técnica. Esto significa que la técnica tiene que combinarse con algún otro mecanismo de búsqueda, y lo que hace, básicamente, es evitar que dicho mecanismo quede atrapado en un óptimo local.

Además explica como la Búsqueda Tabú ha encontrado innumerables aplicaciones en muy variadas áreas dentro de la investigación de operaciones durante los últimos años. Existen muchas variantes de la búsqueda tabú que pueden resultar más adecuadas en ciertos problemas, y dado que la definición misma del algoritmo es un tanto imprecisa, no resulta extraño que cada usuario lo ajuste a sus propias necesidades.

[12] Búsqueda Tabú: Evitando lo Prohibido. Disponible en: http://delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello/revistas/tabu.pdf.gz. Recuperado el 20 de Diciembre de 2008.

4. JUSTIFICACIÓN

El actual proyecto de grado se fundamenta en buscar una solución alternativa en el diseño de las rutas de los vehículos para una empresa productora y distribuidora de Harina de trigo. La necesidad de encontrar soluciones y algoritmos eficientes para los problemas de optimización ha generado a través de la historia un gran interés en diversas áreas, debido a la complejidad que éste presenta.

Actualmente la empresa no cuenta con un diseño de optimización de rutas en la distribución de los productos, esto ha generado últimamente costos en el área logística, tales como el mantenimiento de los vehículos, combustible, contratación de conductores, entre otros.

Lo que se pretende es encontrar la secuencia de visita que deben realizar los vehículos desde el centro de distribución hacia los diferentes lugares de los clientes, de manera que se minimice el tiempo o la distancia total recorrida. Por medio de la metaheurística búsqueda tabú, ya que permite utilizar estrategias basadas en el uso de memoria para escapar de óptimos locales, en los que se puede caer al moverse de una solución a otra por el espacio de soluciones, y a través de un software como visual Basic 6.0 que programe dichas distancias y rutas que permitan obtener soluciones razonablemente buenas.

Por otra parte, este proyecto da un empuje al desarrollo tecnológico y experimental, donde la investigación de operaciones abre un gran interés en diversas áreas, debido a la complejidad que éste presenta. No solo busca beneficiar a la empresa, en tanto encontrar soluciones eficientes que lleven al desarrollo de ventajas competitivas; sino en el caso profesional será una salida laboral posible para un futuro, ofreciendo a la ciudad un mejor servicio. Y establecer en los autores una habilidad crítica e investigativa frente a los problemas que se generan cada día en el país.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general:

- Aplicación de la metaheurística búsqueda tabú al problema de la ruta más corta para una empresa distribuidora de Harina de trigo.

5.2 Objetivos específicos:

A. Analizar los tiempos y distancias según las rutas asignadas por la empresa con el fin de optimizar dichos tiempos o distancias recorridas.

B. Diseñar y programar las distancias en la distribución de los productos, buscando una solución para el Problema del Agente Viajero bajo un modelo metaheurístico.

C. Determinar las mejores rutas según el modelo seleccionado.

D. Elaborar propuestas o recomendaciones de mejoramiento para la empresa Molino de Oriente S.A.

6. MARCO TEÓRICO

En este capitulo se abordaran los principales conceptos a tratar en el desarrollo del proyecto, comenzando con la aclaración de conceptos como logística, problema del Agente Viajero y metaheurísticas. Posteriormente su implementación y algoritmo de aplicación.

6.1 LOGISTÍCA DE DISTRIBUCIÓN

En los últimos años, los estudios de movilidad han crecido en importancia como consecuencia del crecimiento de las ciudades entre ellos está el aumento del parque automotor y la necesaria construcción de obras viales que desembotellen las ciudades, han provocado que haya una crisis de movilidad en las principales ciudades de Colombia. Causando así un problema de movilidad ocasionado por la sobreoferta vehicular, operación inadecuada de rutas de transporte público, equipos obsoletos, deficiente calidad de la malla vial, entre otros. [13]

Enfrentar los costos que se generan, los tiempos de entrega y las necesidades de los clientes, son ante todo uno de los mayores problemas que enfrentan las empresas en su distribución. Muchas empresas valoran la logística y se ha convertido en un tema estratégico importante en todos los ámbitos, desde el abastecimiento de materias primas, hasta la distribución final de los productos.

La logística determina y coordina de forma óptima el producto correcto, el cliente correcto, el lugar y el tiempo correcto. Luego si se asume que el rol del mercado es estimular la demanda, el rol de la logística es satisfacerla. Solamente a través de un detallado análisis de la demanda en términos de nivel, localidad y tiempo, es posible determinar el punto de partida para el logro del resultado final de la actividad logística, atender dicha demanda en términos de costos y efectividad. [14]

---

[13] Movilidad: ¿una crisis sin solución? Disponible en: http://www.infraestructura.org.co/historial/noticia9_052807.php

[14] Mejoramiento de la gestión logística interna en el área de insumos médicos del hospital dipreca. Disponible en: http://www.ingenieria.cl/tesis/ing_(e)_indus/7(2007)/1.pdf. Extraído el 30 de junio de 2009

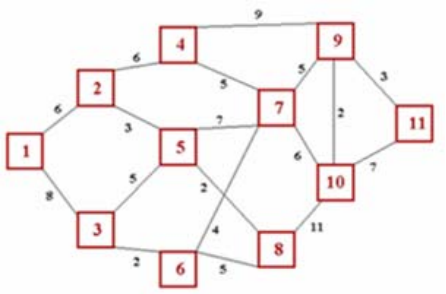
La competencia y la necesidad de satisfacer las expectativas de los clientes adquieren cada vez más importancia e imponen exigentes requerimientos sobre las empresas. Como si esto fuera poco, las expectativas de los clientes abarcan no sólo en el precio y en la calidad de los productos, sino también en la rapidez y confiabilidad en la entrega del producto.

6.2 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO[15]

Uno de los problemas clásicos de investigación de operaciones es el problema del agente viajero (TSP, por sus siglas en inglés; Traveling Salesperson Problem) por George Dantzig y su aplicación para resolver el problema de programación de tareas que se presentan en la manufactura, y el del ruteo de vehículos en el campo de la logística.

El problema del agente viajero, consiste en encontrar la secuencia en que un viajero debe visitar *n* ciudades, de manera que la distancia recorrida sea mínima. Se trata de un problema NP completo, es decir, la única alternativa para su solución consiste en verificar todas las posibles opciones para encontrar cuál es la óptima, hay que tener en cuenta que si el número de ciudades es n, el número de posibles recorridos a ensayar resulta ser n!/2n. (Ver figura 1.)

Figura 1: Problema del Agente Viajero



Disponible en: http://www.hilmerpalomares.com/blog/wp-content/uploads/2007/04/prob_redes.jpg

[15] Investigación de operaciones en acción: Aplicación del TSP en problemas de manufactura y logística. Disponible en ingenierias.uanl.mx/4/pdf/4_Jose_L_Gonzalez_investigacion_de_operaciones.pdf - Recuperado el 7 de septiembre de 2008.

Una de los métodos para resolver este problema es usando algoritmo genéticos, ya que son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización, puesto que una de sus aplicaciones es la resolución de problemas de optimización complejos, los algoritmos genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real.

6.3 METAHEURÍSTICAS

Son algoritmos aproximados de optimización y búsqueda de propósito general. Procedimientos iterativos que guían una heurística subordinada combinando de forma inteligente distintos conceptos para explorar y explotar adecuadamente el espacio de búsqueda.

El sufijo “meta” significa “más allá”, a un nivel superior, las metaheurísticas son estrategias para diseñar o mejorar los procedimientos heurísticos con miras a obtener un alto rendimiento. El término metaheurística fue introducido por Fred Glover en 1986 y a partir de entonces han aparecido muchas propuestas de pautas o guías para diseñar mejores procedimientos de solución de problemas combinatorios.[16]

Dado que las metaheurísticas son estrategias para diseñar procedimientos heurísticos generales con alto rendimiento, los tipos de metaheurísticas se establecen, en función del tipo de procedimientos a los que se refiere. Por tanto, algunos de los tipos fundamentales son las metaheurísticas para los métodos de relajación, se refieren a procedimientos de resolución de problemas que usan relajaciones del modelo original (es decir, modificaciones del modelo que hacen al problema más fácil de resolver), cuya solución facilita la solución heurística del problema original, tanto proporcionando

[16] Conceptos, algoritmo, y aplicación de las N- reinas. Capitulo 2. Heurística y Metaheurística. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/monografias/basic/riojas_ca/cap2.pdf. Recuperado el 08 de Marzo de 2009.

directamente soluciones del modelo relajado como usándolas para conducir el proceso global para su resolución.

Las metaheurísticas para los procesos constructivos como GRASP, las metaheurísticas para las búsquedas por entornos entre ellos están búsqueda tabú, recocido simulado y las metaheurísticas para los procedimientos evolutivos como algoritmos genéticos, búsqueda dispersa.

6.3.1 Métodos metaheurísticos [17]

Estos tipos de metaheurísticas se describen en términos de los procedimientos a que dan lugar de la siguiente manera:

- Metaheurísticas Constructivas: se orientan a los procedimientos que tratan de la obtención de una solución a partir del análisis y selección paulatina de las componentes que la forman. Frente a las alternativas extremas de seleccionar arbitrariamente o al azar las sucesivas componentes, o seleccionar con una estrategia voraz o *greedy* la componente que presenta las máximas ventajas inmediatas, se tiende a estrategias mixtas o intermedias como las de la metodología GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) que selecciona al azar una de las mejores con un criterio adaptativo.

El término GRASP fue introducido por Feo y Resende en 1995 como una metaheurística de propósito general. Es un método de multi arranque, es decir, se alternan una fase de generación de soluciones con otra de mejora de las mismas. El proceso se repite hasta que se cumpla un criterio de parada. Cada paso consiste en una fase de construcción y otra de mejora. En la fase de construcción se aplica una heurística

[17] Metaheurística para la Planificación Logística. Disponible en: http://webpages.ull.es/users/jamoreno/www/talks/TRANSNOVA04M.pdf. Recuperado el 12 de Marzo de 2009.

constructiva para obtener una solución inicial y en la segunda fase dicha solución se mejora mediante un algoritmo de búsqueda local.[18]

- Metaheurísticas Evolutivas: son métodos que van construyendo un conjunto de soluciones a diferencia de los otros métodos que sólo pasan de una solución a otra en cada iteración. Están enfocadas a los procedimientos basados en conjuntos de soluciones que evolucionan sobre el espacio de soluciones alternativas. Existen dos tipos fundamentales de formas de combinar esta información para producir nuevos elementos: mediante procedimientos aleatorios o sistemáticos. Los procedimientos sistemáticos es un método mediante el cual se relacionan hechos aparentemente aislados y se formula una teoría que unifica los diversos elementos. Los procedimientos aleatorios se conoce como muestreo a la técnica para la selección de una muestra a partir de una población.

- Metaheurísticas de Búsqueda: guían procedimientos que usan transformaciones o movimientos para recorrer el espacio de soluciones alternativas y explotar las estructuras de entornos asociadas.

6.3.2 Algoritmos Genéticos (AGs)

Los principios básicos de los Algoritmos Genéticos fueron establecidos por Holland (1975). Son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Los algoritmos genéticos tienen su fundamento en la biología: Inspirado en la “Teoría de la Evolución de Darwin”. La cual dice que dada una población de individuos, sobreviven los más aptos, los que tienen mejores características (selección natural). Por imitación de este proceso, los Algoritmos Genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia posibles soluciones óptimas del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

[18] Conceptos, algoritmo, y aplicación de las N- reinas. Capitulo 2. Heurística y Metaheurística. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/monografias/basic/riojas_ca/cap2.pdf. Recuperado el 08 de Marzo de 2009.

Los Algoritmos Genéticos trabajan con una población de individuos, cada uno de los cuales representa una solución factible a un problema dado. [19]

6.3.3 Recocido simulado (RS)

Es una variante de la búsqueda local que permite movimientos ascendentes para evitar quedar atrapado prematuramente en un óptimo local. El nombre viene de la idea en que está basado un algoritmo diseñado en los años 50 para simular el enfriamiento de material (un proceso denominado "recocido"). En la optimización, el estado final del metal constituye la solución óptima al objetivo de minimizar la energía. Fueron Kirkpatrick et al (1983) y Cerny (1985) quienes introdujeron los conceptos de recocido simulado dentro del mundo de la optimización.

En la idea básica se parte de una solución inicial y se selecciona al azar una solución vecina. Si la solución vecina es mejor, se adopta como la nueva solución. Si no lo es, se acepta como la nueva solución con una probabilidad que decrece a medida que el algoritmo avanza. La idea de aceptar con cierta probabilidad soluciones de menor calidad le permite al algoritmo salir de óptimos locales [20]

6.3.4 Colonias de hormigas

El primer algoritmo basado en la optimización mediante colonias de hormigas fue aplicado al Problema del Agente Viajero por (Marco Dorigo 1996), obteniéndose buenos resultados. A partir de dicho algoritmo se han desarrollado diversos heurísticos que incluyen varias mejoras, y han sido aplicados no solo al TSP sino también a problemas como el VRP entre otros (Marco Dorigo, 1999). Colonia de Hormigas, al igual que otras sociedades de insectos, son sistemas distribuidos que a pesar de la simplicidad de sus individuos presentan una estructura social altamente organizada. Como resultado de esta organización, las colonias pueden realizar tareas complejas que superan las capacidades

---

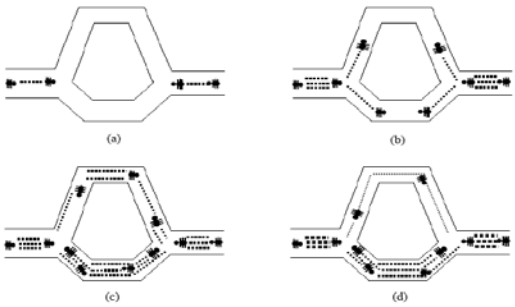
[19] Algoritmos Genéticos. Disponible en http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t2s.pdf. Recuperado el 8 de septiembre de 2008.

[20] Diseño de Heurísticas y fundamentos del Recocido Simulado. Disponible en http://aepia.lcc.uma.es/index.php/ia/article/viewFile/718/710. recuperado el 9 de septiembre de 2008

individuales de una sola hormiga. Las facultades visuales de muchas hormigas son rudimentarias y algunas especies son hasta completamente ciegas. A pesar de eso las hormigas pueden establecer a ciegas la ruta más corta desde su colonia hacia la fuente de alimento y viceversa. Se descubrió que prácticamente toda comunicación entre individuos se basa en el uso de químicos producidos por las hormigas. Estas sustancias químicas se llaman feromonas.

Al iniciar la búsqueda de alimento, una hormiga aislada se mueve a ciegas, es decir, sin ninguna señal que pueda guiarla, pero las que le siguen deciden con buena probabilidad seguir el camino con mayor cantidad de feromonas. Considere la Figura 1 en donde se observa como las hormigas establecen el camino más corto. La mayor densidad de feromonas depositadas en el trayecto más corto hace que éste sea más deseable para las siguientes hormigas y por lo tanto la mayoría elige transitar por él. Considerando que la evaporación de la sustancia química hace que los caminos menos transitados sean cada vez menos deseables y la realimentación positiva en el camino con más feromonas, resulta claro que al cabo de un tiempo casi todas las hormigas transiten por el camino más corto.[21] (Ver figura 2.)

Figura 2: Comportamiento de las hormigas reales



Disponible en: http://www.cnc.una.py/cms/invest/download.php?id=250344,48,1.

[21] Colonia de Hormigas en un Ambiente Paralelo Asíncrono. Disponible en http://www.cnc.una.py/cms/invest/download.php?id=250344,48,1. Recuperado el 9 de septiembre de 2008.

6.3.5 BÚSQUEDA TABÚ

La búsqueda tabú surge, en un intento de dotar de “inteligencia” a los algoritmos de búsqueda local. Según Fred Glover en 1986. La búsqueda tabú es una metaheurística que guía un procedimiento heurístico de búsqueda local en la búsqueda de optimalidad global. Su filosofía se basa en derivar y explotar una colección de estrategias inteligentes para la resolución de problemas, basadas en procedimientos implícitos y explícitos de aprendizaje.

El marco de memoria adaptativa de la búsqueda tabú no solo explota la historia del proceso de resolución del problema, sino que también exige la creación de estructuras para hacer posible tal explotación. De esta forma, los elementos prohibidos en la búsqueda tabú reciben este estatus por la confianza en una memoria evolutiva, que permite alterar este estado en función del tiempo y las circunstancias. En este sentido es posible asumir que la búsqueda tabú esta basada en determinados conceptos que unen los campos de inteligencia artificial y optimización.

El término tabú (*taboo*) procede de la Polinesia, donde es usado por los aborígenes de la isla Tonga para referirse a cosas que no pueden ser tocadas porque son sagradas, una acepción más moderna la define como “Una prohibición impuesta por costumbres sociales como una medida de protección”, también como “marcada como que constituye un riesgo”, esta acepción es la que está más cerca de la esencia del método donde el riesgo a ser evitado es el de seguir un camino no productivo, incluyendo el de ser conducido a una trampa de la que no se puede salir (óptimo local). [22]

Actualmente esta metaheurística tiene un gran campo de aplicación. (Ver anexo A).

[22] Glover, Fred & Laguna, Manuel “Tabú search”. Disponible en: http://leeds-faculty.colorado.edu/laguna/articles/ts2.pdf. Recuperado el 10 de Marzo de 2009.

El tamaño de la lista tabú (**tabú tenure**) es el tiempo o número de iteraciones que un elemento (movimiento o atributo) permanece en la lista tabú. Si todos los elementos tienen la misma tenure, ésta estará identificada por la longitud de la lista tabú, si es variable, es decir, todos los elementos de la lista tabú no tienen la misma tenure, un elemento que entró a la lista tabú antes que otro puede salir mucho después. Esto es, si un movimiento tipo 1 tiene asociada una *tenure* de 5 y entra a la lista tabú en la iteración 30, (saldrá en la iteración 35) y si un movimiento tipo 2 tiene asociada una tenure de 2 y entra a la lista tabú en la iteración 31, saldrá de la misma en la iteración 33, entró después, pero sale antes.[23]

La lista tabú puede contener:

• Soluciones visitadas recientemente
• Movimientos realizados recientemente o
• Atributos o características que tenían las soluciones visitadas.

6.3.5.1 Características de la búsqueda tabú[24]

La búsqueda tabú se caracteriza porque utiliza una estrategia basada en el uso de estructuras de memoria para escapar de los óptimos locales, en los que se puede caer al "moverse" de una solución a otra por el espacio de soluciones. La estructura de la memoria en la metaheurística de búsqueda tabú aplica en relación a cuatro dimensiones principales que son: la calidad, la influencia, la memoria basada en la frecuencia (largo plazo) y la memoria basada en lo creciente (corto plazo).

En este contexto, la memoria se puede utilizar para identificar los elementos que son comunes a las buenas soluciones o caminos que conducen a este tipo de soluciones. Operacionalmente, la calidad se convierte en una base para el aprendizaje

[23] Conceptos, algoritmos y aplicación de las N-reinas. Capitulo 3. Búsqueda Tabú. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/monografias/basic/riojas_ca/conclu.pdf. Recuperado el 8 de Marzo de 2009.

[24] Conceptos, algoritmos y aplicación de las N-reinas. Capitulo 3. Búsqueda Tabú. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/monografias/basic/riojas_ca/conclu.pdf. Recuperado el 8 de Marzo de 2009.

basado en incentivos, los incentivos que se proporcionan a reforzar las acciones que conducen a buenas soluciones y de las sanciones previstas son las acciones para desalentar que conducen a las malas soluciones. La flexibilidad de estas estructuras de memoria permite la búsqueda a ser guiada en un ambiente objetivo, donde la bondad de una búsqueda de dirección puede estar determinada por más de una función.

La estructura de la memoria en la metaheurística de búsqueda tabú opera en relación a cuatro dimensiones principales: (Ver figura 3.)

• Calidad
• Influencia
• Corto plazo (lo reciente),
• Largo plazo (lo frecuente)

Figura 3: Estructuras de la Búsqueda Tabú

Glover, Fred & Laguna, Manuel “Tabu search”. Disponible en: http://leeds-faculty.colorado.edu7laguna/articles/ts2.pdf

La calidad se refiere a la habilidad para diferenciar el mérito de las soluciones, identifica qué las hace tan buenas e incentiva la búsqueda para reforzar las acciones que conducen a una buena solución y desalienta aquellas que conducen a soluciones pobres.

La flexibilidad de la estructura de memoria permite que la búsqueda sea guiada en un contexto multiobjetivo, donde la bondad de una dirección de búsqueda particular puede estar determinada por más de una función, el concepto de calidad en la búsqueda tabú es más amplio que el usado implícitamente en los métodos de optimización, en los cuales se considera que un movimiento es de mejor calidad que otro porque produce una mejor “mejora” (tal es el caso del descenso más rápido), bajo el enfoque de búsqueda tabú un movimiento puede ser de mejor calidad si, por ejemplo, su frecuencia de ocurrencia en el pasado es baja o no ha ocurrido antes y nos permite explorar nuevas regiones. La definición de calidad de una solución es flexible y puede ser adaptado a la naturaleza del problema.

La influencia considera el impacto de las elecciones hechas durante la búsqueda, mide el grado de cambio inducido en la estructura de la solución o factibilidad, no sólo en calidad sino también en estructura, en un sentido la calidad puede entenderse como una forma de influencia.

Registra información acerca de las elecciones de un elemento de una solución particular incorpora un nivel adicional de aprendizaje, registra qué elementos o atributos generan ese impacto. Las restricciones tabú más comunes, cuyos atributos son los inversos de aquellos que definen las restricciones, característicamente tienen el objetivo de prevenir el ciclado, es decir, eventos que se repiten y de inducir vigor en la búsqueda. Debe precisarse que el evitar ciclos no es la meta final del proceso de búsqueda.

Memoria basada en lo Reciente (Corto Plazo) la memoria de corto plazo de la búsqueda tabú constituye una forma de exploración agresiva que intenta realizar el mejor movimiento posible sujeto a las restricciones impuestas por el problema.

Las restricciones impuestas por el problema se utilizan para evitar que se reviertan o repitan ciertos movimientos (se convierten en "prohibidos"). El objetivo primordial de los movimientos prohibidos es hacer que la técnica de búsqueda pueda ir más allá de los puntos de óptimo local, a la vez que se mantienen movimientos de alta calidad a cada

paso. Sin estas restricciones, el método podría moverse hacia un punto fuera de un óptimo local, pero inmediatamente después caería en el mismo punto al determinarse que el mejor movimiento posible desde esa posición es precisamente el óptimo local antes mencionado.

En general, las restricciones tabú tienen como objetivo prevenir ciclos e inducir a la búsqueda a que siga una nueva trayectoria si ocurren ciclos en un sentido más limitado (es decir, si se revisita una solución encontrada previamente). Estas restricciones no operan de manera aislada, sino que se contrabalancean mediante la aplicación de ciertos criterios de aspiración derivados del planteamiento del problema

Su funcionamiento básico se muestra en la figura 4.

Memoria basada en la Frecuencia (Largo Plazo) lo que hace es diversificar la búsqueda sobre regiones que no han sido explorada aún; todo esto con el fin de no caer en óptimos locales.

La memoria a largo plazo tiene dos estrategias asociadas:

- Las estrategias de Intensificación: refuerzan las propiedades de las combinaciones de movimientos. Para ello se favorece la aparición de aquellos atributos asociados a buenas soluciones encontradas.

- La estrategia de Diversificación: dirigen la búsqueda hacia nuevas regiones del espacio de soluciones factibles. Para ello se modifican las reglas de elección para incorporar a las soluciones atributos que no han sido usados frecuentemente.

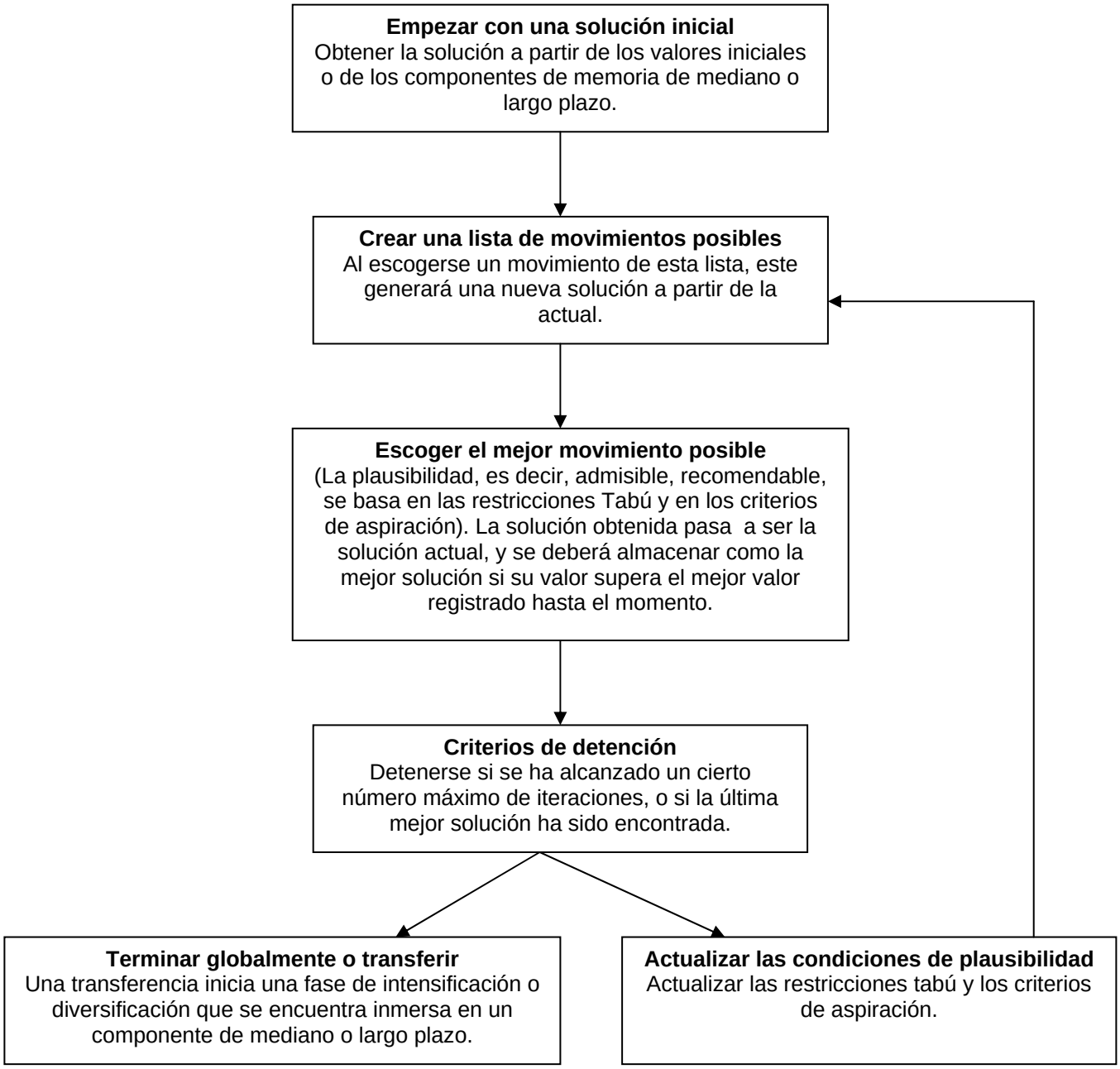
Para la implementación del algoritmo búsqueda tabú se desarrollo la memoria a largo plazo puesto que proporciona un tipo de información que complementa la información proporcionada por la memoria basada en lo reciente, ampliando la base para seleccionar movimientos preferidos. Como lo reciente, la frecuencia a menudo toma en cuenta las dimensiones de calidad de la solución e influencia del movimiento. De está forma la

memoria a largo plazo permite intensificar la búsqueda, es decir, explorar las vecindades de las mejores soluciones encontradas en el algoritmo o diversificar la búsqueda sobre regiones poco exploradas para no caer en óptimos locales, a diferencia de la memoria a corto plazo que almacena la historia de los últimos movimientos realizados, denominándose lista tabú, tiene como objetivo tener un registro de los movimientos tabú que pueden hacer que nos regresemos a un óptimo local de una iteración anterior.

6.3.5.2 Metodología de la Búsqueda Tabú

La búsqueda tabú procede como cualquier algoritmo de búsqueda: Dada una solución x (solución inicial, ésta puede ser el resultado de una heurística, de una selección aleatoria o de una asignación arbitraria realizada por el usuario) se define un entorno o vecindario N(x), se evalúa y se “mueve” a una mejor solución pero, en lugar de considerar todo el entorno o vecindario la búsqueda tabú define el entorno reducido N*(x) como aquellas soluciones disponibles (no tabú) del entorno de x.

Figura 4: Componente de memoria de corto plazo de la búsqueda tabú



Disponible en: Búsqueda Tabú: Evitando lo Prohibido. Disponible en: http://delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello/revistas/tabu.pdf.gz.

6.3.5.3 Algoritmo de la Búsqueda Tabú Simple[25]

El algoritmo de la búsqueda tabú parte de una solución inicial Xo, que pudo haber sido obtenida por algún procedimiento aleatorio u otro, desde donde se comienza a recorrer el espacio de soluciones. La función N(x) genera el conjunto de soluciones vecinas descartando aquellas que no se pueden utilizar por restricciones en la lista tabú, pero incluyendo aquellas que debido al criterio de aspiración pueden ignorar la prohibición de la misma. Entre todas las soluciones de la vecindad se selecciona aquella que minimice el valor de la función objetivo. (Ver figura 5).

Figura 5: Algoritmo de la Búsqueda Tabú

```
Generar solución inicial x0
    k := 1.
    x= x0.                                  (x es la solución actual)

MIENTRAS la condición de finalización no se encuentre
 HACER:
    Identificar N(x).                       (Vecindario de x)
    Identificar T(x,k).                     (Lista Tabú )
    Identificar  A(s,k).                    (Conjunto de Aspirantes)
    Determinar N*(x,k) = {N(x) – T(x,k)} ∪A(x,k).   (Vecindario reducido)
    Escoger la mejor x ∈ N*(x,k)
    "Guardar" x si mejora la mejor solución  conocida      xk := x.
    Actualizar la lista tabú
    k := k+1.
FIN MIENTRAS
```

Conceptos, algoritmos y aplicación de las N-reinas. Capitulo 3. Búsqueda Tabú. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/monografias/basic/riojas_ca/conclu.pdf.

Al confeccionar la Lista Tabú se debe considerar:

- Tamaño de la lista tabú (*tabú tenure*).
- Si se usará memoria de atributos, elección de los atributos para almacenar en la lista tabú.
- Establecer un criterio mediante el cual un movimiento tabú pueda ser aceptado (nivel de aspiración).

[25] Conceptos, algoritmos y aplicación de las N-reinas. Capitulo 3. Búsqueda Tabú. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/monografias/basic/riojas_ca/conclu.pdf. Recuperado el 8 de Marzo de 2009.

7. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE DE LA EMPRESA

En el presente capítulo se describe los procesos del sistema de carga de la empresa y su distribución, como también se analizarán las rutas vigentes y distancias recorridas.

7.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El proceso de reparto del producto se realiza de la siguiente forma: como inicio, se tiene un programa donde está la lista de los teléfonos de cada cliente, registrando el pedido de cada uno, de igual forma se toman los pedidos que hacen los clientes cuando llaman a la empresa o lo solicitan desde ella. En seguida se anota en un cuaderno el nombre del cliente, la cantidad y la descripción del producto, para luego ser ingresado al sistema para realizar la facturación y entrega.

El proceso de la recepción de las órdenes de pedido se muestra en la figura 6:

Figura 6. Proceso de pedido

Fuente: Autor

Frecuencia de pedidos

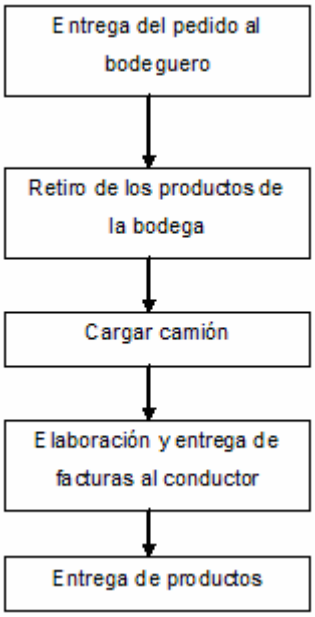
Los pedidos realizados por los clientes, se efectúan cada ocho días, día por medio o cada quince días, aproximadamente, teniendo una frecuencia de 1 vez por semana.

7.1.1 Proceso de despacho

En el proceso de despacho se le entrega el pedido al bodeguero el cual se encarga de ubicar los productos, donde tiene en cuenta para su despacho, la fecha de elaboración, puesto que se despacha primero el producto que tenga la fecha más antigua de elaboración. Luego es cargado el producto al camión por medio de 1 ayudante o 2 dependiendo del vehículo, enseguida se elabora la factura para cada cliente que demora alrededor de unos 30 minutos, y es entregado al conductor quién se encarga de distribuir el producto a los clientes.

El proceso de despacho de los pedidos se puede observar en la figura 7.

Figura 7. Proceso de despacho



Fuente: Autor

Frecuencia de despacho

El despacho del producto se realiza de lunes a viernes, desde las 8:30 AM hasta las 7:00 PM y los sábados desde las 8:00 AM hasta las 2:00 PM.

7.1.2 Descripción del sistema de carga

Se retira el producto de la bodega que está almacenado en pallets (es una plataforma re-utilizable usada en la estiba de carga para facilitar el aprovechamiento del espacio de almacenamiento y de bodega de transporte, y las operaciones de manipuleo). Antes de cargar el camión, se revisan que todos los productos estén ordenados conforme a cada pedido, además se registran los productos y las cantidades que salen de la bodega.

La empresa distribuye el producto por medio de dos camiones, que son los siguientes:

- Chevrolet NKR2 modelo 2007, que tiene una capacidad de 3 toneladas aproximadamente, y con 1 ayudante para la distribución del producto.
- Chevrolet NPR2 modelo 2002, con una capacidad de 4 toneladas aproximadamente y cuenta para el despacho y cargue del camión con 2 ayudantes y el conductor.

7.1.3 Tiempos de carga

Los tiempos de carga de los camiones tomados son de aproximadamente 40 minutos. Ambos camiones comienzan a cargar el producto alrededor de las 8:00 de la mañana y comienza la repartición a las 9:30 am.

Los tiempos de carga varían dependiendo de la cantidad de bultos de Harina a cargar, y demás factores que influyen en el momento del cargar el camión como generación de facturas, cantidad de pedido a cargar, revisión del producto entre otros.

7.2 ANÁLISIS DE LA RUTA ACTUAL DE LA EMPRESA

7.2.1 Clientes

La empresa cuenta con clientes potenciales que se consideran *clientes frecuentes* y otros clientes que realizan pedidos no habitualmente, por lo tanto la cantidad de clientes varía según los meses. Los clientes se encuentran ubicados en Bucaramanga y toda su Área Metropolitana.

A continuación se presentan la enumeración de los clientes y el lugar al que pertenecen. (Ver tabla 1)

Tabla 1. Clientes de distribución

Código	Clientes	Lugar	Dirección
C001	DG Dislar	Floridablanca	Cl. 7 # 9-13
C002	Panadería el Gran Ponqué	Floridablanca	Cr. 8 # 3-03
C003	Panadería Pan de Dios	Floridablanca	Cl. 198 # 33-07
C004	Nancy Luna	Floridablanca	Cl. 4 # 5-15
C005	Expedito Horjuela	Floridablanca	Cl. 7 # 10-63
C006	Avidesa Mac Pollo	Floridablanca	Cl. 4 # 5-36
C007	Mildre Soto	Floridablanca	Cl. 5ª # 15-03
C008	Panadería Vivipan	Floridablanca	Cl. 5 # 18-03
C009	La casa del Pan	Floridablanca	Cr 8 · 3-35
C010	Xiomara Sánchez	Lagos II	Cr. 3 # 49-12
C011	Nelson Suárez	Lagos II	Cr. 4 # 45-06
C012	Luís Fernando Pinto	Lagos II	Cr. 6 # 40-11
C013	Cr. 9e # 30-30	Cumbre	Cr. 9E # 30-30
C014	Edinson Luna	Cumbre	Cl. 30 # 7-05
C015	Leidy Vargas	Cumbre	Cl. 30ª # 10-08
C016	Josué Cala	Caldas	Cl. 111 # 33-02
C017	Arquímedes Rincón	Caldas	Cr. 33 # 106-02
C018	Expoflor	Bellavista	Cr. 39ª # 150-22
C019	Panadería MG	Alto viento I	Cr. 34 # 104-32
C020	Panadería Mata Café	Bucaramanga	Cr. 15 # 33-49
C021	Icopan	Bucaramanga	Cr. 20 # 14-36
C022	Panadería la Flota	Bucaramanga	Cr. 16 # 24-50
C023	Panadería Dubapan	Bucaramanga	Cr. 28 # 55-57
C024	Panadería los Trigales	Bucaramanga	Cr. 17 # 16-34

Fuente: Autor

Continuación de la tabla 1.

C025	Panadería los Olivos	Bucaramanga	Cr. 21 # 9-41
C026	Cr. 13 # 18-03	Bucaramanga	Cr. 13 # 18-03
C027	Cr. 22 #13-52	Bucaramanga	Cr. 22 # 13-52
C028	Luís Mangado	Bucaramanga	Cr. 16 # 28-49
C029	Carlos Ortiz	Bucaramanga	Cr. 8 # 28-76
C030	Cr 21 # 48-35	Bucaramanga	Cr. 21 # 48-35
C031	Panadería Laura	Bucaramanga	Cl. 13 # 18-03
C032	Cl. 50 # 19-28	Bucaramanga	Cl. 50 # 19-28
C033	Ricaute	Bucaramanga	Cl. 61 # 17e -21
C034	Ezequiel Pineda	Bucaramanga	Cl. 14 # 15-17
C035	Josué Ballesteros	Bucaramanga	Cl. 14 # 23-09
C036	Panadería Daivi	Bucaramanga	Cl. 14 # 15-76
C037	Panadería la Moderna	Bucaramanga	Cl. 41 # 17-70
C038	Cl. 12 # 22-69	Bucaramanga	Cl. 12 # 22-69
C039	Cl. 50 # 19-20	Bucaramanga	Cl. 50 # 19-20
C040	Cl. 31 # 9-39	Bucaramanga	Cl. 31 # 9-39
C041	Marlon Eslava	Bucaramanga	Cl. 45 # 14ª-10
C042	Cl. 68 # 6-10	Bucaramanga	Cl. 68 # 6-10
C043	Cl. 41 # 33-35	Bucaramanga	Cl. 41 # 33-35
C044	Candido Montañés	Bucaramanga	Cl. 14 # 60-12
C045	Cl. 31 # 6-04	Bucaramanga	Cl. 31 # 6-04
C046	Cl. 9 # 20-03	Bucaramanga	Cl. 9 # 20-03
C047	Cl. 37 # 37-48	Bucaramanga	Cl. 37 # 37-48
C048	Rapi Pasta	Provenza	Cr. 22 #115-02
C049	Gloria Rangeles	Diamante II	Cl. 88 # 24-63
C050	Cl. 63 # 2aw -20	Mutis	Cl. 63 # 2AW-20
C051	Panadería Fabipan	Mutis	Cl. 61 # 7W -99
C052	Insumos El Panadero	Piedecuesta	Cr. 5 # 8-25
C053	Roza Martínez	Piedecuesta	Cr. 6 · 10-91
C054	Panadería Bonanza	Piedecuesta	Cr. 19 # 5N -04
C055	Pablo Cáceres	Piedecuesta	Cr. 2ª # 17BN -34

7.2.2 Rutas actuales

Las rutas en función a los lugares que se deben visitar se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2. Rutas actuales en función a los lugares

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Floridablanca	Floridablanca	Floridablanca	Bucaramanga	Floridablanca	Piedecuesta
Diamante II	Bucaramanga	Alto viento I	Mutis	Bucaramanga	Bucaramanga
Bucaramanga	Cumbre	Bucaramanga	Piedecuesta	Piedecuesta	
Bellavista	Piedecuesta	Caldas			
Piedecuesta					

Fuente: Autor

Estas rutas pueden variar dependiendo del pedido de entrega del cliente.

7.2.3 Combustible

El pago del combustible de cada camión semanalmente es el siguiente:

- El camión N1 tanquea dos veces por semana, y en cada tanqueo el costo en gasolina es $80.000.
- El camión N2 tanquea tres veces por semana, y en cada tanqueo el costo en gasolina es $107.000.

Cada una de las rutas, sufren variaciones, es decir, algunos días aumentan más los lugares a visitar y otros días se recorren menos. En general, las rutas son muy irregulares, existen días en que se atienden a pocos clientes, y otros días se atiende a muchos de ellos en diferentes lugares.

Otro punto importante es la capacidad de los camiones, ya que existe una diferencia entre las capacidades de uno y del otro, provocando así algunos problemas, puesto que el camión con menor capacidad solo distribuye aquellos clientes en los que el pedido es de

gran cantidad y por el contrario el camión con mayor capacidad realiza rutas en las que distribuye a muchos clientes y con un bajo nivel de carga.

7.3 RECOLECCIÓN DE DATOS

A continuación se presentan los datos correspondientes a las distancias que corresponde a cada cliente incluyendo el centro de distribución. Todos estos datos se recopilaron a través de las mediciones que fueron tomadas por la autora quien acompañó a los operarios de los camiones en cada una de las rutas con que cuenta la empresa, durante el mes de enero del 2009 y por medio de un mapa vial de Bucaramanga para ubicar los distintos clientes y sus distancias entre si. (Ver anexo B)

A manera de ejemplo se muestra la tabla 3 de las rutas de clientes, correspondiente a la semana 12 del mes de enero, para tener una visión del trabajo cotidiano de la empresa.

Tabla 3. Rutas de clientes

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
DG dislar	Avidesa Mac Pollo	Xiomara Sánchez	Panadería los Trigales	Mildre Soto	Panadería Bonanza
Panadería Vivipan	Nancy Luna	Panadería MG	Ricaute	Panadería el Gran Ponqué	Insumos el Panadero
Gloria R	Panadería Dubapan	Luís Mangado	Cl. 68 # 6-10	Icopan	Cl. 63 # 2aw-20
Panadería laura	Rosa Martínez	Ezequiel Pineda	Josué Ballesteros	Cr. 22 # 13-52 B/manga	Panadería Dubapan
Panadería la Flota	Panadería Bonanza	Josué Cala	Rosa Martínez	Pablo Cáceres	
Expoflor	Panadería Fabipan		Insumos el Panadero	Panadería Daivi	

Fuente: Autor

La cantidad de clientes a distribuir puede variar diariamente, debido a que muchas veces el cliente desea que le lleven el pedido otro día de la semana diferente al que normalmente se le distribuye.

7.3.1 Kilómetros Recorridos

En la tabla 4, se presentan los kilómetros promedio obtenidos por cada día de trabajo de las rutas realizadas, empezando desde el centro de distribución y terminando en el mismo. Estos kilómetros promedio se tomaron de acuerdo al número de días de observación y recolección de datos.

Tabla 4. Kilómetros Recorridos

Rutas	Numero de muestras	Kilómetros Promedio
Lunes	3	38
Martes	3	53
Miércoles	3	47
Jueves	2	55
Viernes	3	34
Sábado	2	25

Fuente: Autor

Estos kilómetros varían según la cantidad de entrega diaria.

7.3.2 Tiempos de descarga

Los tiempos de descargue se calcularon con base en la recopilación de datos de cada ruta. Se consideró aproximadamente el tiempo de estadía promedio en cada local o cliente, como se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Tiempos de descarga

Código cliente	Número de visitas al cliente	Tiempo promedio de descargue (min.)	Código cliente	Número de visitas al cliente	Tiempo promedio de descargue (min.)
C001	2	11	C029	2	10
C002	2	16	C030	3	11
C003	3	15	C031	3	9
C004	2	8	C032	3	9

Continuación de la tabla 5.

C005	3	10	C033	3	12
C006	3	18	C034	3	4
C007	2	5	C035	2	22
C008	3	7	C036	3	19
C009	2	16	C037	4	8
C010	3	9	C038	1	5
C011	2	18	C039	2	25
C012	2	10	C040	2	7
C013	2	17	C041	3	6
C014	3	25	C042	2	16
C015	2	15	C043	2	13
C016	3	6	C044	1	20
C017	2	9	C045	2	8
C018	3	12	C046	2	22
C019	1	7	C047	2	10
C020	3	18	C048	3	6
C021	3	30	C049	4	4
C022	4	20	C050	2	17
C023	3	40	C051	2	24
C024	3	34	C052	3	15
C025	3	26	C053	3	26
C026	2	8	C054	2	25
C027	2	36	C055	2	20
C028	2	18	C054	2	25
			C055	2	20

Fuente: Autor

7.3.3 Formato de toma de mediciones

El presente formato permitió recolectar la información necesaria para el desarrollo del modelo, durante un mes se tomaban los datos que se registraban en los camiones, observando cada entrega del pedido y despacho de esta (restricciones, tiempo de entrega, tiempo de descargue etc. (Ver figura 8).

Figura 8. Formato de toma de mediciones

MOLINO DE ORIENTE S.A.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo

Día Mes Año

Camión

Hora salida

Hora de llegada

Total Km.

CLIENTE	LUGAR	Tuvo restricciones en la entrega	Observaciones

Comentario General _____

Fuente: Autor

8. DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

La modelación matemática es un procedimiento que reconoce y verbaliza un problema para posteriormente cuantificarlo, transformando las expresiones verbales en expresiones matemáticas. El proceso de modelación consta de cuatro pasos, los cuales son los siguientes:

Tabla 6. Modelación Matemática

Modelación Matemática
Paso 1: Identificación de las variables de decisión
Paso 2: Identificación de la función objetivo
Paso 3: Identificación de las restricciones
Paso 4: Modelo de asignación de rutas

La investigación Operativa. Disponible en: http://www.eio.uva.es/~ricardo/io/introio.pdf

8.1 IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE DE DECISIÓN

La variable de decisión es el número de clientes a ubicar en la ruta.

8.2 IDENTIFICACIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

La función objetivo que se desea llegar es la siguiente:

¿Qué combinación de clientes, atendidos por un solo camión se logra obtener la ruta más corta?

Como se observa la función objetivo, relaciona la minimización de costos, que involucra tanto clientes, como las rutas y los camiones utilizados para abastecer a cada cliente.

8.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS RESTRICCIONES

- Los clientes que son escogidos para la distribución no pueden ser escogidos nuevamente.
- Todo cliente debe pertenecer a una única ruta.
- Los clientes deben ser atendidos sólo una vez por ruta.
- Una ruta siempre debe comenzar y terminar en el centro de distribución

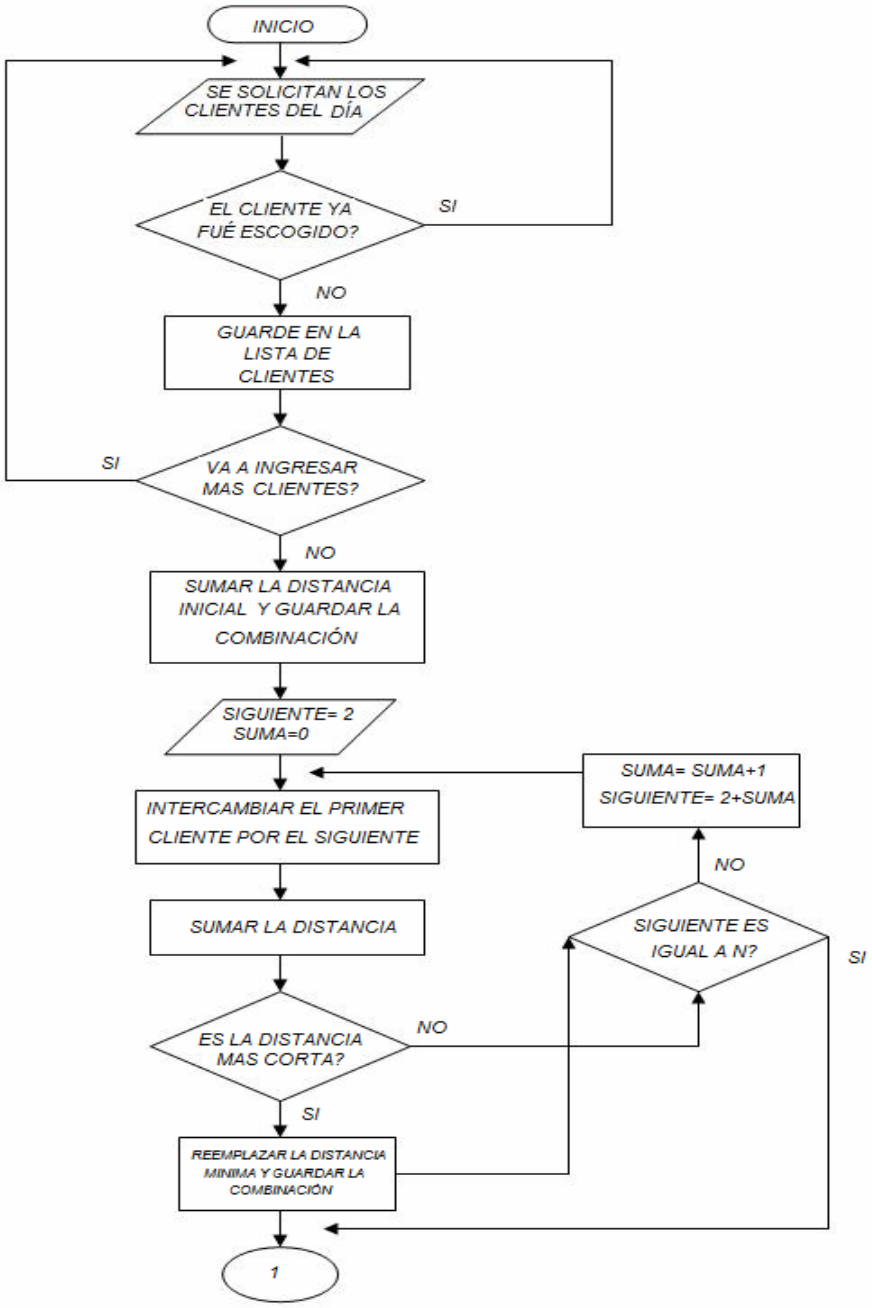
8.4 MODELO MATEMÁTICO

Según los datos recolectados y la información obtenida el modelo de transporte para la asignación de rutas se muestra en la figura 9.

Se presenta un breve significado de las palabras utilizadas para la elaboración del algoritmo.

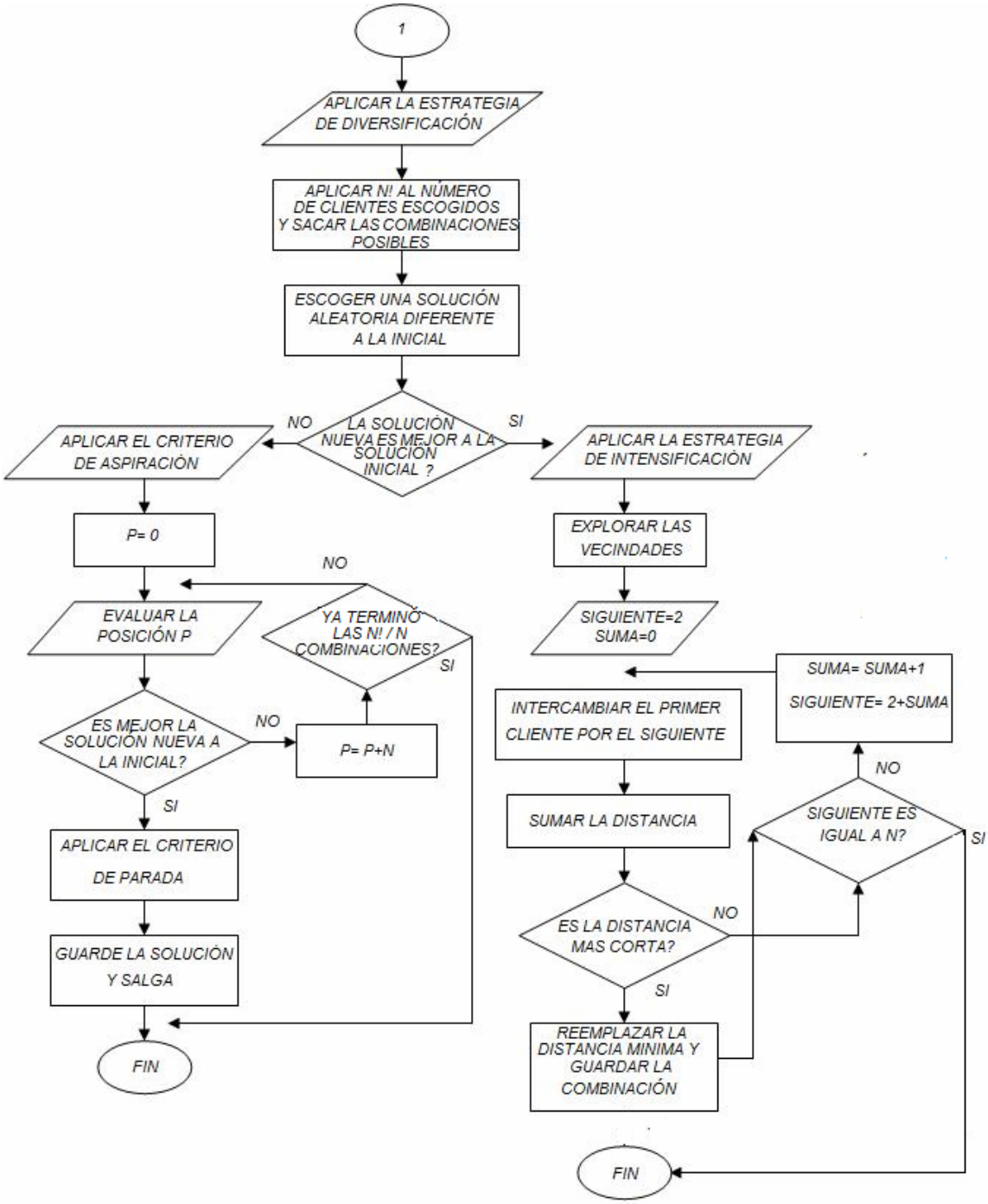
- N: número de clientes a distribuir.
- Estrategia de diversificación: consiste en repetir el proceso de búsqueda pero en este caso partiendo de una solución inicial aleatoria completamente diferente al punto de partida inicial.
- Estrategia de intensificación: consiste en regresar a regiones ya exploradas para estudiarlas más a fondo, es decir, la exploración de los vecindarios de las mejores soluciones encontradas.
- Criterio de aspiración: aceptar aquella movida que mejore el valor de la función objetiva.
- Criterio de parada: se utilizó para detener el algoritmo en el momento de encontrar una solución óptima.
- (N!)/(N): se utilizó para expandir la búsqueda en el espacio de soluciones
- Exploración de vecindades: conjunto de soluciones posibles asociadas.

Figura 9. Modelo matemático



Fuente: Autor

Continuación de la figura 9.



Fuente: Autor

9. IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capitulo se describe la implementación de la metaheurística búsqueda tabú. De igual forma se presenta la herramienta de programación Visual Basic 6.0 para el manejo de la base de datos. Esté programa permite interactuar de una manera ágil ya que es sencillo para introducir los puntos a visitar y muestra los pasos que va ejecutando. Finalmente, se realiza un comparativo de resultados contra el algoritmo de Clarke and Wright.

9.1 VISUAL BASIC[26]

Visual Basic es una herramienta de desarrollo que permite crear aplicaciones para Windows basado en el lenguaje Basic y en la programación orientada a objetos, gráficas de forma rápida y muy sencilla.

Visual Basic proporciona herramientas que permiten crear ventanas y controles sin escribir código. También incluye un entorno de desarrollo que permite ejecutar todas las tareas de edición, ejecución y mantenimiento de programas de una forma fácil y cómoda. Así mismo, pone a disposición del usuario una ayuda en línea completa, lo que permitirá solucionar cualquier duda que surja mientras se crea una aplicación.

Cada objeto, ya sean controles o formularios, tiene una serie de propiedades y métodos que se pueden manipular por código. Este código se ejecutará cuando se produzca un suceso determinado. Mientras ese suceso no se produzca, el código permanecerá inactivo.

[26] Sierra Ceballos Javier Fco. Enciclopedia de Microsoft Visual Basic 6. Editorial RA – MA Alfaomega. Edición 2002. México D.F

9.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos por medio del modelo Búsqueda Tabú y el programa visual se presentan a continuación.

Se escogió Visual Basic porque es un programa que puede generar instaladores de ejecutables y no necesita de otro programa para ejecutarlo.

9.2.1 Aplicación del algoritmo Búsqueda Tabú

El primer paso consiste en seleccionar los clientes a los que se distribuirá el producto cada día abastecido por un solo camión, los clientes se encuentran enumerados para mayor facilidad en el momento de introducirlos en el programa. (Ver tabla 1)

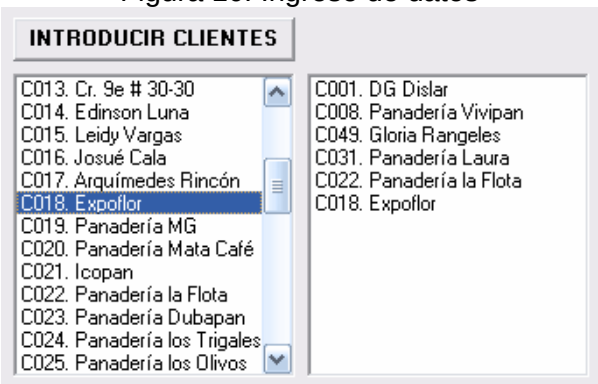
Ruta del día lunes

Se presenta el procedimiento completo que genera el programa para la ruta del día lunes, luego se muestra las distancias y combinaciones totales para los demás días.

Las soluciones están expresadas como:
Xo: distancia inicial
X1: solución aleatoria diferente a la inicial
Xf: distancia final

Como se observa en la figura 10 los clientes a distribuir el día lunes son:

Figura 10: Ingreso de datos



Generando una solución inicial y una distancia total:

Xo= C001-C008-C049-C0031-C022-C018 secuencia de distribución

Distancia más corta: 1550 mm. La distancia convertida a kilómetros es: 22 km.

La distancia está expresada en milímetros, está distancia fue tomada por medio de un mapa vial de la ciudad de Bucaramanga donde se ubicaron los clientes y su distancia entre sí. Para realizar la conversión se tomó una medida física desde la calle 48 con la carrera 33 (parque san pío) hasta la carrera 33 con calle 33 (plaza guarín), la distancia desde los dos puntos es de 1Km (1000 metros), luego en el mapa equivale a 70 mm. Por lo tanto cada 70 mm que se median en el mapa equivalían a 1000 metros.

En seguida se intercambiará el primer cliente por el segundo, el primero por el tercero y así n-1 veces, como se muestra en la figura 11, sumando las distancias totales que genera cada combinación desde el origen al primer cliente, el primer cliente al segundo, hasta el último cliente al centro de distribución, y comparando la distancia nueva con la anterior como se observa en la figura 12.

Figura 11. Intercambio de clientes

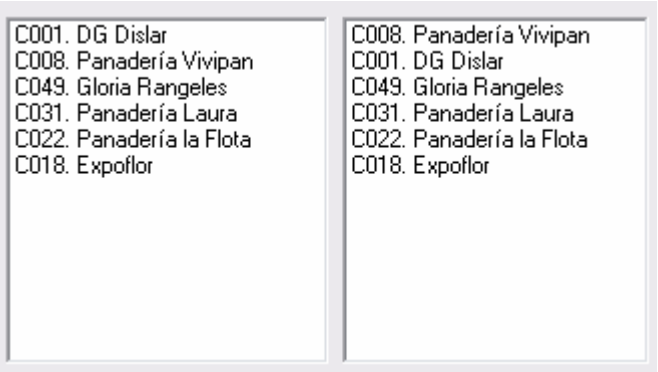


Figura 12. Comparación de distancias

Si la distancia no es mejor a la inicial no la cambia, si es mejor coloca la distancia nueva como la inicial.

Al evaluar las combinaciones generadas por el programa, se encuentra que la función con la distancia menor es:

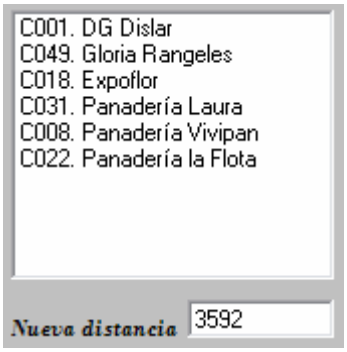
X1= C001-C008-C049-C0031-C022-C018
Distancia más corta: 1550 mm – 22 Km.

El siguiente paso consiste en aplicar la *estrategia de diversificación* que se fundamenta en repetir el proceso de búsqueda pero en este caso partiendo de una solución inicial aleatoria completamente diferente al punto de partida inicial es decir (X1), como se observa en la figura 13. Aplicando n! factorial al número de clientes escogidos para la distribución, por medio de un randómico que permitirá escoger la solución y su distancia total recorrida.

Figura 13. Estrategia de diversificación

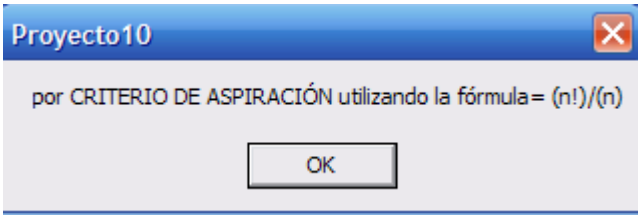
La solución aleatoria se puede observar en la figura 14.

Figura 14. Solución aleatoria



Si la solución obtenida no es mejor que la solución inicial, se aplicará el criterio de aspiración que se basa en aceptar aquella movida que mejore el valor de la función objetiva. Realizando (n!)/(n) combinaciones. (Ver figura 15)

Figura 15. Criterio de aspiración



Luego se evaluará cada cierto número de iteraciones comparando la solución nueva con la solución inicial, si es la mejor solución, se aplicará un criterio de parada al encontrar la mejor distancia, (ver figura 16,17 y 18), si las soluciones obtenidas no son mejor a la solución inicial terminará el proceso y dejará la solución inicial.

Figura 16. Combinaciones de clientes

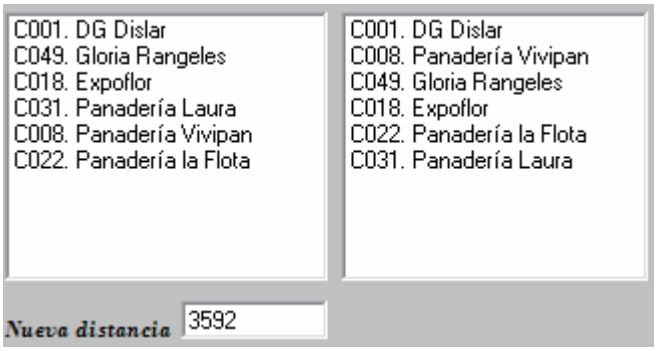


Figura 17. Distancia total

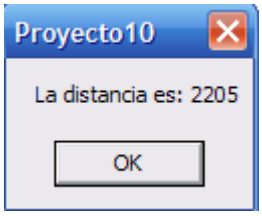
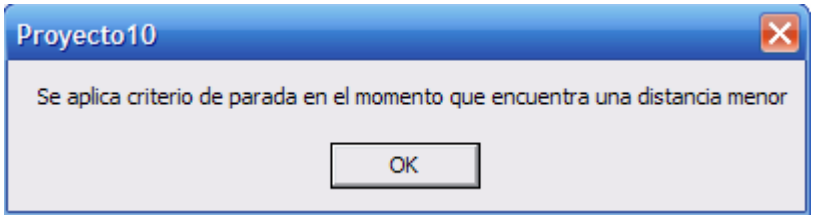


Figura 18. Criterio de parada

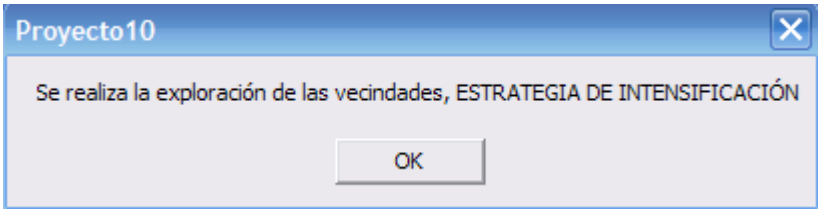


En este caso evalúo todas las posibilidades y ninguna fue mejor que la inicial luego la solución óptima es:

Xf= C001-C008-C049-C0031-C022-C018
Distancia más corta: 1550 mm es decir 22 Km. Aproximadamente.

Si la solución obtenida en este caso es mejor a la solución inicial obtenida hasta el momento, se ejecutará el *proceso de intensificación*, como se observa en la figura 19, que se basa en la exploración de los vecindarios de las mejores soluciones encontradas en el algoritmo básico. Por tal razón en este caso se identifican las 6 mejores soluciones de este algoritmo básico y se repite el proceso de búsqueda.

Figura 19. Exploración de vecindades



Se intercambiará el primer cliente por el segundo, el primero por el tercero y así n-1 veces, sumando las distancias totales que genera cada combinación desde el origen al primer cliente, enseguida el primer cliente al segundo, hasta el último cliente al centro de distribución.

Hasta encontrar una distancia menor a la inicial, de lo contrario deja la distancia inicial encontrada.

Los clientes a distribuir en la semana se muestran en la tabla 7:

Tabla 7: Rutas nuevas de entrega

DÍA	RUTA	KILOMETROS TOTAL
Lunes	Origen – C001 – C008 – C049 – C031 – C022 – C018 – Origen	22
Martes	Origen – C004 – C051 – C054 – C023 – C053 – C006 – Origen	30
Miércoles	Origen – C034 – C028 – C016 – C019 – C010 – Origen	23
Jueves	Origen – C042 – C024 – C033 – C052 – C053 – Origen	33
Viernes	Origen – C007 – C002 – C027 – C036 – C021 – C055 – Origen	22
Sábado	Origen – C023 – C050 – C054 – C052 – Origen	18

Fuente: Autor

9.2.2 Aplicación del algoritmo Búsqueda Tabú y el método Clarke and Wright

Se realizó un estudio donde se analizan los métodos de búsqueda tabú y Clarke and Wright (1954) con el fin de visualizar otras alternativas, se tomaron los datos que fueron recopilados en el periodo de estudio correspondiente a las semanas 19 y 26 de enero.

La heurística de Clarke and Wright es capaz de incluir varias restricciones prácticas puesto que construye rutas y secuencias al tiempo. El objetivo de este método es minimizar la distancia total recorrida por todos los vehículos al tiempo que se minimiza la cantidad de vehículos utilizados, que se convierte en una variable de decisión.[27]

Por medio del programa elaborado en visual Basic se realizó la aplicación del método búsqueda tabú, permitiendo conocer cual es la mejor combinación y cual la

[27] Aplicación de la Heurística de Spacefilling Curves en Problemas de Ruteo de Vehículos (VRP). Disponible en: http://columbus.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/456/1/mi_1282.pdf extraído el 30 de junio de 2009.

distancia más corta para cada ruta, así mismo se desarrolló el modelo de Clarke and Wright en Excel aplicando la formula 1.

$$Coi + Coj - Cij \qquad (1)$$

Donde:

i y j son los clientes a distribuir.

Co= es el costo de hacer un viaje desde el deposito hasta el cliente (kilómetros recorridos)

Cij= costo de hacer un viaje desde la localidad i hasta la localidad j (kilómetros recorridos).

La heurística Clarke and Wright utiliza dos métodos como el paralelo y el secuencial, que construye la ruta de a una por vez. Para el desarrollo del modelo se utilizó el secuencial. A manera de ejemplo se explica que significa esté método.

- Se considera la ruta (0, i,….., j, 0).
- Se combinan dos clientes para un vehículo tal que $coi + cij + cjo < coi + cio + coj + cjo$ con una ganancia $sij = cio + coj - cij$. Donde sij es el ahorro que se obtiene al juntar dos clientes (i, j) en una sola ruta.
- Se combinan los clientes con mejor *sij*. Los clientes *i* y *j* se consideran ahora como un solo cliente.
- De esta manera se siguen juntando clientes hasta llegar a una solución factible. El proceso se detiene cuando no se encuentran rutas para fusionar que sean factibles.

La combinación de rutas que se tomaron para la aplicación del algoritmo búsqueda tabú y clarke and Wright se presentan en la tabla 8 y los resultados obtenidos para la comparación de las técnicas utilizadas se presentan en la tabla 9.

Tabla 8. Combinaciones de rutas

RUTAS	KILOMETROS
Origen – C001 – C006 – C010 – C015 – C022 – C027 – C035 - Origen	26
Origen – C007 – C009 – C030 – C038 – C043 – C048 – C052 – Origen	38
Origen – C004 – C012 – C023 – C041 – C050 – C051 – C055 – Origen	20
Origen – C003 – C011 – C023 – C033 – C037 – C045 – C053 – Origen	32
Origen – C002 – C010 – C017 – C025 – C035 – C044 – C047 – Origen	26
Origen – C005 – C009 – C013 – C032 – C048 – C054 – C055 – Origen	21
Origen – C011 – C015 – C020 – C026 – C030 – C040 – C046 – Origen	33

Fuente: Autor

Tabla 9. Comparación del algoritmo Búsqueda Tabú con el método Clarke and Wright

Búsqueda Tabú	Kilómetros	Clarke and Wright	Kilómetros
Origen – C001 – C010 – C015 – C022 – C027 – C035 – C006 – Origen	25	Origen –C006 – C001 – C010 – C015 – C022 – C027 – C035 - Origen	26
Origen – C007 – C052 – C009 – C048 – C043 – C038 – C030 – Origen	36	Origen – C009 – C007 – C052 – C030 – C038 – C043 – C048 – Origen	35
Origen – C012 – C004 – C023 – C041 – C050 – C051 – C055 – Origen	20	Origen – C004 – C041 – C050 – C051 – C023 – C012 – C055 – Origen	34
Origen – C003 – C011 – C033 – C023 – C037 – C045 – C053 – Origen	32	Origen – C052 – C037 – C023 – C003 – C011 – C033 – C045 – Origen	47
Origen – C002 – C010 – C017 – C025 – C035 – C044 – C047 – Origen	26	Origen – C047 – C035 – C017 – C002 – C010 – C025 – C044 – Origen	46
Origen – C005 – C009 – C013 – C048 – C032 – C055 – C054 – Origen	21	Origen – C055 – C043 – C013 – C005 – C009 – C032 – C054 – Origen	32
Origen – C011 – C015 – C020 – C030 – C026 – C046 – C040 – Origen	31	Origen – C046 – C030 – C020 – C011 – C015 – C026 – C040 – Origen	45

Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos, según la tabla 9, indican que la mejor solución, o por lo menos la más corta en todas las instancias, fue encontrada al usar la técnica búsqueda tabú, puesto que está metaheurística permite aplicar estrategias de solución que llevan a explorar con más eficiencia el espacio de búsqueda.

9.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos por el algoritmo Búsqueda Tabú se puede observar un cambio en la secuencia de las rutas de entrega de cada día, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: Comparación de rutas

DÍA	RUTA ACTUAL	Kilómetros recorridos	RUTA NUEVA	Kilómetros recorridos	Ganancia
Lunes	Origen – C001 – C008 – C049 – C031 – C022 – C018 – Origen	38	Origen – C001 – C008 – C049 – C031 – C022 – C018 – Origen	22	16
Martes	Origen – C004 – C051 – C054 – C023 – C053 – C006 – Origen	53	Origen - C006 – C004 – C023 – C053 – C054 – C051 - Origen	30	23
Miércoles	Origen – C034 – C028 – C016 – C019 – C010 – Origen	47	Origen - C010 – C019 – C028 – C034 – C016 - Origen	23	24
Jueves	Origen – C042 – C024 – C033 – C052 – C053 – Origen	55	Origen - C024 – C033 – C042 – C035 – C053 – C052 – Origen	33	22
Viernes	Origen – C007 – C002 – C027 – C036 – C021 – C055 – Origen	34	Origen - C007 – C002 – C021 – C027 – C055 – C036 – Origen	22	12
sábado	Origen – C023 – C050 – C054 – C052 - Origen	25	Origen - C054 – C052 – C050 – C023 – Origen	18	7

Fuente: Autor

Al evaluar las rutas por medio del programa y del algoritmo elaborado, se observó que la ruta del día lunes no cambió a la ruta que posee la empresa, pero si hubo una disminución en la distancia total recorrida, puesto que la distancia recolectada en la empresa el día lunes es aproximadamente 38 Km., debido a factores externos en el momento de distribuir el producto como: tiempo de entrega, flujo vehicular, causando así buscar otras alternativas de rutas.

Las demás rutas analizadas muestran una reducción en las distancias recorridas, a las distancias actuales, con una variación aproximadamente de 16 Km. De igual forma el programa mostró la secuencia más favorable para la distribución de los demás días.

Por medio del algoritmo planteado las rutas de cada semana se evaluaron a través de las estrategias de diversificación e intensificación que se encargan de explorar nuevas soluciones, es decir, nuevas combinaciones que permitieran llegar a una distancia mínima, sin caer en óptimos locales.

Al igual que las otras rutas el modelo búsqueda tabú permitió buscar estrategias de solución, que ayudaran a escapar de óptimos locales y continuar la búsqueda de soluciones aún mejores.

A partir de está nueva distribución de las rutas, se espera un mejoramiento en el nivel de servicio al cliente, al disminuir las distancias totales recorridas abastecidas por día y como consecuencia, al disminuir los tiempos totales de duración de las rutas. Para mayor calidad en el nivel de servicio, también se hace necesario mejorar otros factores como los tiempos de descarga que agilizan los tiempos de estadía en cada uno de los clientes; esto se puede mejorar con la contratación de otro ayudante para el camión que sólo posee una persona para el descargue del producto.

CONCLUSIONES

- Luego de realizado la descripción de los procesos de transporte de la empresa, se concluye que uno de las principales problemas de las rutas lo constituyen los tiempos de duración que existe en el momento de cargar el camión, puesto que estos suelen ser de aproximadamente 40 minutos a una hora en total. Así como en el proceso de facturación de cada pedido, de igual forma la demora en el momento de descargue de los productos los distintos locales o clientes que abastece, ya sea por la ineficiencia del sistema de recepción, la gran cantidad de productos a descargar o las largas esperas.

- Se concluye que la aplicación de la metaheurística búsqueda tabú permitió encontrar una posible solución óptima para el ruteo de los vehículos de la empresa. Este modelo fue creado en base a lo encontrado en la empresa actualmente, para así ser implementado su resultado a la brevedad.

- Al realizar los análisis y evaluar estas mejoras en el programa se concluye que sí hubo una mejoría en las rutas de distribución del producto, desde el centro de distribución hasta el cliente final. Proporcionando a la empresa un método con el cual se establece un mejor recorrido para realizar la distribución del producto a los diferentes clientes. Además, de lograr una reducción en las distancias total recorridas por los camiones de reparto; 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.

- Se concluye que el algoritmo realizado para el desarrollo del programa, permitió disminuir el riesgo de caer en óptimos locales y en concordancia con el problema se le pueden introducir modificaciones producto de los resultados encontrados en el programa.

- Finalmente se elaboraron recomendaciones para la empresa Molino de Oriente.

- Como trabajos futuros, se propone utilizar esta metaheurística, para enfrentar problemas más complejos en el TSP (Problema del Agente Viajero), que tengan en cuenta el uso de una flota de vehículos, de restricciones con ventanas de tiempo y capacidad del vehículo.

- Extender la investigación a otros problemas como VRP, CVRPTW (capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows).

- Desarrollar otros algoritmos empleando otras metaheurísticas como son Algoritmos Genéticos, colonia de Hormigas, entre otras, para solucionar estos mismos problemas y comparar los resultados obtenidos.

RECOMENDACIONES

- La primera alternativa analizada fue determinar una posible solución 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). Buscando hacer más eficiente el sistema de reparto y por consecuencia incrementar la productividad de la empresa.

- Después de realizar dicho análisis de las rutas nuevas por medio del programa, se recomienda realizar una reunión con los trabajadores de la empresa involucrados en el proceso de distribución, con el fin de comentarles los resultados obtenidos por el estudio y de está forma tomar las mejores decisiones para su distribución.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- Hiller Fredericks, Liberman Gerald J. Investigación de operaciones. Octava edición. Editorial McGraw- Hill. 2007

- Kamlesh Mathur, Solow Daniel. Investigación de operaciones. El arte de la toma de decisiones. Editorial Prentice Hall Hispanoamérica, S.A. 1996

- Sierra Ceballos Javier Fco. Enciclopedia de Microsoft Visual Basic 6. Editorial RA – MA Alfaomega. Edición 2002. México D.F

- Glover Fred, Laguna Manuel. Tabu Search. Sexta edición. Editorial Kluwer Academic Publishers. Edición 2002.

INTERNET

- Algoritmos Genéticos. Disponible en: http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t2s.pdf. Recuperado el 8 de septiembre de 2008.

- Algoritmos para problemas de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad y ventanas de tiempo. Disponible en: http://www.iosuperior.com.ar/files/ResumenEjecutivoTesisBalseiro.pdf. Recuperado el 9 de septiembre de 2008.

- Conceptos, algoritmos y aplicación de las N-reinas. Capitulo 3. Búsqueda Tabú. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/monografias/basic/riojas_ca/conclu.pdf. Recuperado el 8 de Marzo de 2009.

- Conceptos, algoritmo, y aplicación de las N- reinas. Capitulo 2. Heurística y Metaheurística. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/monografias/basic/riojas_ca/cap2.pdf. Recuperado el 08 de Marzo de 2009.

- Colonia de Hormigas en un Ambiente Paralelo Asíncrono. Disponible en: http://www.cnc.una.py/cms/invest/download.php?id=250344,48,1. Recuperado el 9 de septiembre de 2008.

- Diseño de Heurísticas y fundamentos del Recocido Simulado. Disponible en: http://aepia.lcc.uma.es/index.php/ia/article/viewFile/718/710. Recuperado el 9 de septiembre de 2008.

- Glover, Fred & Laguna, Manuel "Tabú search". Disponible en: http://leeds-faculty.colorado.edu/laguna/articles/ts2.pdf. Recuperado el 10 de Marzo de 2009.

- Introducción a la búsqueda Tabú. Disponible en: http://webpages.ull.es/users/mbmelian/TS_Spanish_GloverMelian(11-9-06).pdf. Recuperado el 9 de septiembre de 2008.

- Investigación de operaciones en acción: Aplicación del TSP en problemas de manufactura y logística. Disponible en ingenierias.uanl.mx/4/pdf/4_Jose_L_Gonzalez_investigacion_de_operaciones.pdf - Recuperado el 7 de septiembre de 2008.

- Metaheurística para la Planificación Logística. Disponible en: http://webpages.ull.es/users/jamoreno/www/talks/TRANSNOVA04M.pdf. Recuperado el 12 de Marzo de 2009.

ANEXOS

ANEXO A
Aplicaciones de Búsqueda Tabú [28]

Aplicaciones de Tabu search[11]	
Scheduling Flow-Time Cell Manufacturing Heterogeneous Processor Scheduling Workforce Planning Classroom Scheduling Machine Scheduling Flow Shop Scheduling Job Shop Scheduling Sequencing and Batching	**Telecommunications** Call Routing Bandwidth Packing Hub Facility Location Path Assignment Network Design for Services Customer Discount Planning Failure Immune Architecture Synchronous Optical Networks
Design Computer-Aided Design Fault Tolerant Networks Transport Network Design Architectural Space Planning Diagram Coherency Fixed Charge Network Design Irregular Cutting Problems	**Production, Inventory and Investment** Flexible Manufacturing Just-in-Time Production Capacitated MRP Part Selection Multi-item Inventory Planning Volume Discount Acquisition Fixed Mix Investment
Location and Allocation Multicommodity Location/Allocation Quadratic Assignment Quadratic Semi-Assignment Multilevel Generalized Assignment Lay-Out Planning Off-Shore Oil Exploration	**Routing** Vehicle Routing Capacitated Routing Time Window Routing Multi-Mode Routing Mixed Fleet Routing Traveling Salesman Traveling Purchaser
Logic and Artificial Intelligence Maximum Satisfiability Probabilistic Logic Clustering Pattern Recognition/Classification Data Integrity Neural Network |Training and Design	**Graph Optimization** Graph Partitioning Graph Coloring Clique Partitioning Maximum Clique Problems Maximum Planner Graphs P-Median Problems
Technology Seismic Inversion Electrical Power Distribution Engineering Structural Design Minimum Volume Ellipsoids Space Station Construction Circuit Cell Placement	**General Combinational Optimization** Zero-One Programming Fixed Charge Optimization Nonconvex Nonlinear Programming All-or-None Networks Bilevel Programming General Mixed Integer Optimization

[28] Tabu search Fred Glover & Manuel Laguna pp 2. Disponible en: http://leeds-faculty.colorado.edu/laguna/articles/ts2.pdf. extraído el 30 de junio de 2009.

ANEXO B
Distancias entre los clientes de distribución

Anexo B. Distancias entre los clientes de distribución

	0	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	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
0		45	20	20	50	45	52	74	109	19	130	126	120	280	281	279	370	388	200	345	630	710	725	510	780	740	720	715	665	700	540	750	543	490	735	738	733	595	752	545	695	590	535	562	741	693	750	525	417	390	684	690	410	419	510	402
1	50		30	30	10	0	20	43	65	27	100	105	126	292	298	283	400	390	220	356	670	755	733	555	803	752	764	757	706	745	583	795	587	532	778	761	753	612	778	590	711	621	556	603	779	715	800	554	442	416	721	713	450	449	542	438
2	25	36		0	29	27	21	73	98	0	70	85	115	279	282	280	365	385	197	352	645	737	752	535	797	756	739	727	676	716	562	765	558	516	740	746	753	600	764	555	703	603	547	578	752	705	770	535	424	406	699	710	421	429	528	422
3	25	36	0		29	27	22	73	98	0	69	84	114	279	282	280	365	385	197	352	645	737	752	535	797	756	739	727	676	716	562	765	558	516	740	746	753	600	769	555	704	603	547	578	752	705	770	535	424	406	699	710	421	429	528	422
4	42	17	25	25		44	0	40	43	24	132	128	123	292	283	280	373	391	203	347	634	718	728	515	786	744	725	719	669	706	543	753	546	497	737	741	736	598	759	546	698	600	539	566	747	698	756	530	420	397	687	696	419	422	515	412
5	52	0	33	33	15		18	40	46	32	108	115	131	298	301	287	410	399	229	361	677	762	740	561	813	802	773	761	716	750	590	800	590	537	782	769	759	620	780	600	721	629	560	613	781	720	810	557	450	422	730	723	459	453	550	442
6	0	40	16	16	0	40		77	96	14	133	129	124	283	284	281	374	392	205	348	635	719	730	518	788	746	726	720	670	709	545	755	548	499	739	743	738	599	761	549	700	603	540	569	749	700	759	531	422	400	689	700	420	424	519	414
7	67	45	62	62	67	46	69		35	44	156	135	152	315	310	296	396	415	227	365	653	728	740	538	810	763	753	727	686	721	567	773	562	530	755	749	753	621	770	560	719	620	547	574	763	712	773	545	437	423	712	719	427	426	528	428
8	100	75	90	90	97	98	99	30		87	170	149	173	332	330	325	402	425	232	382	675	734	756	556	832	785	764	745	697	742	582	791	573	531	767	761	770	637	787	581	733	638	562	590	780	724	792	570	457	438	724	730	438	440	535	438
9	26	34	0	0	30	29	24	74	100		72	89	116	281	287	283	370	390	199	355	650	740	755	540	800	760	740	731	678	720	564	767	560	520	743	746	755	604	770	557	706	605	549	580	754	706	771	538	428	407	701	712	423	430	529	424
10	102	128	97	96	145	109	137	129	134	99		13	24	216	228	231	260	278	89	281	567	641	581	432	645	684	632	660	575	621	511	670	464	405	652	716	655	496	639	472	620	516	478	520	726	627	664	497	410	321	545	553	493	497	593	481
11	127	145	130	130	120	121	142	165	179	133	15		19	215	220	225	245	262	82	266	556	637	572	426	637	678	624	652	566	610	500	663	457	396	646	710	647	490	633	465	612	510	470	512	713	619	658	492	338	319	539	549	488	494	599	477
12	135	180	147	147	139	179	160	183	194	150	28	15		210	215	219	235	247	60	253	530	625	565	410	630	660	618	645	560	595	480	657	450	380	640	697	642	487	627	459	597	493	465	500	698	610	650	487	330	310	530	542	482	489	580	472
13	255	276	260	261	275	282	274	300	318	262	210	202	200		15	15	283	308	100	313	545	630	579	427	635	664	656	634	581	620	465	660	455	415	555	639	557	510	644	467	612	515	545	502	690	619	662	522	340	300	562	557	590	612	630	625
14	259	270	265	266	273	287	277	307	311	267	206	199	205	20		0	287	312	109	318	550	635	582	430	638	667	660	639	584	629	470	664	468	416	558	645	560	518	647	470	619	518	580	509	696	624	667	526	346	308	564	560	598	622	635	628
15	247	265	257	260	268	278	271	310	305	260	200	195	197	21	0		300	302	111	310	554	638	585	433	641	670	663	642	586	633	474	668	471	422	561	648	564	522	651	474	623	520	554	512	699	628	671	531	350	314	570	563	610	630	640	634
16	357	371	360	361	369	387	377	390	412	364	283	273	240	280	293	297		27	175	30	340	458	380	238	410	447	436	450	390	625	260	650	254	215	657	458	660	510	462	262	405	508	266	294	485	416	437	325	145	112	370	340	812	827	838	847
17	364	382	369	373	357	375	364	398	420	371	271	266	253	287	300	303	25		195	12	326	435	377	230	403	439	430	447	385	620	258	645	250	210	652	455	656	505	460	259	400	501	261	290	481	412	430	322	143	106	367	335	819	833	841	853
18	184	212	152	150	157	220	195	218	225	186	80	77	55	97	100	109	170	190		199	532	630	573	418	610	665	621	652	562	605	450	642	460	410	630	660	638	502	670	466	590	487	535	506	693	615	668	536	320	290	550	559	597	622	655	635
19	368	389	373	378	361	378	370	410	427	376	277	270	258	292	312	313	34	18	204		320	430	371	227	396	435	427	440	377	617	253	640	247	207	649	450	651	500	458	255	397	499	259	287	478	409	425	320	140	100	360	330	822	839	845	856
20	628	665	640	639	630	670	628	670	645	561	550	525	540	549	551	550	335	320	527	315		150	40	187	108	178	95	170	35	70	110	140	95	151	110	174	114	47	179	98	69	46	325	160	297	73	170	165	416	260	267	277	935	946	952	957
21	718	739	722	723	777	710	775	721	730	720	643	640	646	652	657	664	460	454	635	444	110		105	237	39	33	70	22	118	147	178	12	183	235	30	27	34	136	36	185	157	155	360	190	290	158	35	224	502	412	396	380	1032	1041	1047	1054
22	668	715	681	679	670	712	657	721	687	575	597	565	586	593	590	584	347	362	567	355	45	97		227	55	130	70	112	0	50	140	80	120	192	141	197	148	74	133	124	46	83	365	178	318	67	130	345	456	302	307	317	975	986	992	999
23	512	532	507	506	487	532	492	510	521	513	416	400	383	390	405	415	205	206	402	195	145	227	217		223	241	240	218	155	215	70	237	62	40	245	212	248	120	228	66	230	143	197	100	307	220	245	127	295	131	205	170	833	838	939	844
24	728	765	751	754	757	763	728	790	800	771	635	627	618	605	618	611	390	389	576	380	105	34	57	235		70	35	50	61	120	165	30	175	225	16	57	19	116	57	180	125	145	338	215	264	135	74	240	515	345	338	318	1047	1052	1050	1060
25	764	782	736	736	724	782	716	733	760	738	664	658	641	647	650	655	450	442	629	429	182	38	126	275	74		118	35	132	182	190	35	38	99	76	52	79	189	26	39	190	223	427	234	230	192	12	258	259	119	157	123	970	986	990	993
26	718	720	712	711	705	770	716	741	754	746	642	629	628	651	650	657	430	427	632	435	100	75	74	241	42	109		84	75	82	208	57	77	282	43	88	48	144	94	83	92	142	138	240	269	88	100	277	392	432	400	430	1035	1030	1027	1012
27	725	746	717	718	771	768	723	720	735	721	655	643	624	628	644	650	430	437	642	420	174	18	110	223	57	38	82		110	162	167	28	178	217	46	10	49	140	17	182	178	214	264	190	267	178	347	230	490	317	124	140	1038	1047	1054	1062
28	672	720	690	682	674	719	661	727	693	780	604	573	591	599	596	589	351	369	570	360	41	126	0	231	50	137	78	120		56	147	77	117	187	139	193	145	90	137	128	49	87	368	183	323	71	137	348	461	309	312	326	980	990	997	1004
29	690	735	702	700	698	730	690	711	731	710	601	605	582	611	615	627	610	617	590	609	68	130	50	210	117	170	80	152	51		174	76	184	240	124	162	128	116	162	190	18	120	332	230	320	22	174	265	476	320	327	337	995	1006	1012	1017
30	531	573	552	554	537	584	535	557	575	552	509	497	473	430	466	464	254	246	442	243	118	165	135	32	172	165	200	150	137	170		200	15	71	197	57	202	50	180	23	182	67	216	97	329	190	195	124	251	171	212	181	883	888	989	894
31	720	765	755	756	740	796	735	763	781	757	660	654	650	655	658	660	643	634	638	637	132	15	76	230	34	30	65	23	72	74	210		183	278	23	32	26	146	34	187	85	178	426	270	320	94	34	310	256	184	388	410	1066	1078	1070	1086
32	533	577	548	549	536	580	538	552	557	552	454	437	430	425	428	461	234	227	436	231	102	176	115	52	165	36	74	168	12	180	18	179		55	185	178	197	56	186	0	190	77	221	102	333	205	208	132	260	179	206	276	832	846	853	864
33	481	520	502	503	479	517	479	510	518	512	395	385	372	405	408	406	210	200	400	195	159	230	182	35	210	95	279	211	180	235	69	260	61		230	218	237	125	250	64	240	146	135	140	363	240	100	163	130	302	146	116	803	810	909	821
34	730	768	730	732	727	772	719	735	727	733	642	626	628	525	540	550	647	642	615	629	113	33	130	240	18	71	40	42	127	130	180	20	170	175		67	0	127	64	191	135	155	342	223	274	145	84	251	530	355	348	330	1057	1062	1060	1070
35	720	721	736	737	728	756	723	729	754	735	700	705	661	623	628	630	430	437	653	438	178	25	190	200	60	50	83	12	187	168	60	28	168	205	36		39	120	12	172	160	204	250	180	257	163	24	220	470	307	114	130	1028	1037	1044	1050
36	723	733	720	722	716	739	718	730	761	740	642	637	632	541	550	554	657	646	628	643	116	31	140	240	20	74	44	40	140	132	208	24	187	180	0	72		132	69	193	140	160	349	227	280	151	90	257	537	360	351	336	1060	1069	1065	1076
37	588	620	592	593	590	530	588	632	617	592	476	470	479	495	499	512	504	491	488	513	43	132	57	115	106	169	137	145	96	118	56	140	61	130	132	126	129		155	67	108	36	310	130	269	135	160	137	376	220	227	237	896	916	912	920
38	732	756	746	754	750	772	752	763	773	765	619	613	621	624	627	632	433	430	653	441	168	32	125	218	55	24	97	14	127	172	170	36	190	243	72	10	76	150		184	182	214	356	200	257	192	27	240	493	327	135	152	1048	1057	1064	1072
39	530	570	540	542	527	576	529	548	550	547	450	427	425	420	422	456	230	220	431	227	106	180	110	49	160	30	80	172	18	187	24	183	0	57	189	184	205	60	190		196	85	227	112	343	215	200	127	255	171	157	272	830	838	847	860
40	700	721	713	714	695	710	712	709	723	726	629	600	590	619	629	633	415	410	583	390	72	150	40	220	128	166	84	165	47	15	172	75	180	230	120	150	135	118	193	201		115	327	225	312	14	184	275	456	330	337	347	1005	1016	1022	1027
41	563	617	613	614	595	620	617	612	628	611	508	501	483	500	509	517	497	486	480	490	44	147	92	133	135	213	132	204	97	110	72	168	79	146	160	210	170	40	215	83	117		236	146	356	120	225	183	380	230	225	240	890	926	932	950
42	525	546	540	541	530	551	532	537	552	539	470	465	460	538	547	550	260	257	530	246	290	363	355	187	328	237	130	254	358	322	208	406	211	125	332	240	339	215	385	217	317	250		301	516	340	396	313	253	296	75	64	960	932	1059	979
43	552	512	570	571	552	603	561	570	583	576	511	502	497	495	501	508	290	286	500	280	168	210	180	112	220	246	235	180	193	220	104	260	118	130	233	170	217	138	217	122	230	150	309		199	241	240	27	272	112	253	295	923	930	1029	941
44	731	769	742	743	740	771	739	753	770	744	716	703	688	680	685	690	480	471	683	468	307	302	328	317	274	240	279	277	333	330	339	329	343	373	284	267	290	279	267	333	302	364	530	190		315	238	172	564	404	452	526	1129	1064	1170	1074
45	683	726	696	696	688	710	690	702	714	698	617	609	600	610	614	618	408	402	605	397	76	147	92	236	135	194	97	173	54	21	163	87	191	241	132	164	143	128	203	42	12	125	337	235	320		184	270	465	334	337	350	1005	1016	1022	1030
46	740	790	760	762	745	800	749	763	782	761	654	648	640	652	657	650	417	421	658	412	176	31	136	265	84	15	128	45	142	192	200	46	48	105	86	62	89	170	36	49	207	233	257	244	240	202		260	264	125	167	133	980	996	1000	1013
47	515	540	525	526	512	537	521	532	563	525	584	466	483	475	510	516	521	317	526	310	160	232	335	117	230	248	280	220	338	270	114	300	142	173	241	210	257	127	230	117	265	173	303	17	162	260	270		310	138	297	315	953	971	1059	981
48	407	432	414	416	410	430	412	427	437	418	400	328	320	327	329	341	135	133	310	130	400	512	466	285	525	269	382	490	471	466	241	286	270	120	520	460	527	366	483	245	476	370	283	262	554	475	275	300		183	332	357	919	933	941	970
49	380	406	394	395	382	402	391	413	418	396	311	309	300	293	291	304	102	100	283	95	264	401	332	141	335	129	442	307	319	330	181	174	169	312	365	317	350	220	337	161	320	220	286	102	414	324	135	140	196		342	373	879	903	911	923
50	674	611	689	690	677	720	679	702	714	697	532	529	520	552	554	560	360	357	350	357	274	390	317	215	328	167	410	114	302	317	202	378	216	136	358	104	341	217	125	167	327	215	65	253	482	327	177	300	345	360		30	929	936	1035	947
51	710	723	730	732	716	733	710	700	724	702	543	559	552	567	570	573	350	345	563	346	283	375	327	180	308	113	420	130	316	327	171	400	286	106	340	120	326	227	142	262	337	230	54	285	516	340	123	310	355	383	25		950	966	1050	963
52	427	437	431	432	429	469	430	438	448	413	473	498	492	600	608	620	822	829	563	832	833	1084	985	843	1057	980	2015	1048	990	965	893	1056	842	813	1047	1038	1070	886	1058	840	1015	900	990	943	1149	1025	990	960	926	889	932	970		18	102	130
53	420	459	439	440	432	463	434	436	450	446	517	514	510	622	632	647	837	843	632	849	860	1087	996	848	1062	996	1040	1057	100	1016	898	1088	856	820	1072	1047	1079	905	1067	868	1026	936	972	960	1065	1036	1005	980	943	913	947	976	20		97	142
54	520	552	538	539	525	560	529	538	545	539	603	599	590	641	647	653	849	851	665	855	864	1090	982	849	1060	1000	1037	1064	1007	1022	999	1080	863	919	1070	1054	1075	902	1074	877	1032	952	1069	1049	1190	1042	1010	1064	951	921	1042	1068	112	100		220
55	422	458	442	443	422	462	434	437	458	438	491	498	492	646	638	655	867	863	645	866	850	1102	984	854	1070	1003	1022	1072	1014	1027	904	1096	874	831	1080	1060	1066	910	1082	870	1037	972	997	961	1194	1050	1008	990	980	903	960	973	142	150	212	

ANEXO C
Programación Visual Basic 6.0

```
Dim conta, conta2, barr As Integer
Dim i As Integer
Dim m1 (57, 57), m2 (0, 57), m3 (5, 57) As Variant
Dim m4 (10, 362900), m5 (), m As String
Dim dmm, dmts As Long

Private Sub Command3_Click ()
End
End Sub

Private Sub Form_Load ()
Form2.Visible = True
Form1.Visible = False
Adodc1.RecordSource = App. Path & "\tabla de distancias1.mdb"

For i = 2 To 57 Step 1
   c = i
   For j = 2 To 57 Step 1
      f = j
      If c = f Then
         m1(c - 2, f - 2) = Val ("0")
      Else
         m1(c - 2, f - 2) = Val (cel(c, f))
      End If
   Next j
Next i
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = 1
End Sub

Private Sub Command1_Click ()
m2 (0, 0) = "Molino de Oriente S.A."
m2 (0, 1) = "C001. DG Dislar”
m2 (0, 2) = "C002. Panadería el Gran Ponqué"
m2 (0, 3) = "C003. Panadería Pan de Dios"
m2 (0, 4) = "C004. Nancy Luna"
m2 (0, 5) = "C005. Expedito Horjuela"
m2 (0, 6) = "C006. Avidesa Mac Pollo"
m2 (0, 7) = "C007. Mildre Soto"
m2 (0, 8) = "C008. Panadería Vivipan"
m2 (0, 9) = "C009.  La casa del Pan"
m2 (0, 10) = "C010. Xiomara Sánchez"
m2 (0, 11) = "C011. Nelson Suárez"
```

```
m2 (0, 12) = "C012. Luís Fernando Pinto"
m2 (0, 13) = "C013. Cr. 9e # 30-30"
m2 (0, 14) = "C014. Edinson Luna"
m2 (0, 15) = "C015. Leidy Vargas"
m2 (0, 16) = "C016. Josué Cala"
m2 (0, 17) = "C017. Arquímedes Rincón"
m2 (0, 18) = "C018. Expoflor"
m2 (0, 19) = "C019. Panadería MG"
m2 (0, 20) = "C020. Panadería Mata Café"
m2 (0, 21) = "C021. Icopan"
m2 (0, 22) = "C022. Panadería la Flota"
m2 (0, 23) = "C023. Panadería Dubapan"
m2 (0, 24) = "C024. Panadería los Trigales"
m2 (0, 25) = "C025. Panadería los Olivos"
m2 (0, 26) = "C026. Cr. 13 # 18-03"
m2 (0, 27) = "C027. Cr. 22 • 13-52"
m2 (0, 28) = "C028. Luís Mangado"
m2 (0, 29) = "C029. Carlos Ortiz"
m2 (0, 30) = "C030. Cr 21 # 48-35"
m2 (0, 31) = "C031. Panadería Laura"
m2 (0, 32) = "C032. Cl. 50 # 19-28"
m2 (0, 33) = "C033. Ricaute"
m2 (0, 34) = "C034. Ezequiel Pineda"
m2 (0, 35) = "C035. Josué Ballesteros"
m2 (0, 36) = "C036. Panadería Daivi"
m2 (0, 37) = "C037. Panadería la Moderna"
m2 (0, 38) = "C038. Cl. 12 # 22-69"
m2 (0, 39) = "C039. Cl. 50 # 19-20"
m2 (0, 40) = "C040. Cl. 31 # 9-39”
m2 (0, 41) = "C041. Marlon Eslava"
m2 (0, 42) = "C042. Cl. 68 # 6-10"
m2 (0, 43) = "C043. Cl. 41 # 33-35"
m2 (0, 44) = "C044. Candido Montañés"
m2 (0, 45) = "C045. Cl. 31 # 6-04"
m2 (0, 46) = "C046. Cl. 9 # 20-03"
m2 (0, 47) = "C047. Cl. 37 # 37-48"
m2 (0, 48) = "C048. Rapi Pasta"
m2 (0, 49) = "C049. Gloria Rangeles"
m2 (0, 50) = "C050. Cl. 63 # 2aw -20"
m2 (0, 51) = "C051. Panadería Fabipan"
m2 (0, 52) = "C052. Insumos El Panadero"
m2 (0, 53) = "C053. Rosa Martínez"
m2 (0, 54) = "C054. Panadería Bonanza"
m2 (0, 55) = "C055. Pablo Cáceres"
'*********************************************************************
'Esta parte carga los clientes totales que tenemos.
```

```
'*********************************************************************
For i = 1 To 55 Step 1
   List1.List (i - 1) = m2 (0, i)
   List1.ItemData (i - 1) = i - 1
Next i

End Sub

Private Sub Command2_Click ()
Dim lectura As String
Dim i, j, k, w, X As Integer
Dim ncomb, conta5, conta6, filam4 As Long
Dim vk, l, clientes, columna, cltdiv, linea As Integer
Dim lista As String
                              ''X0, Y1 de m4 se va a usar para ubicar el resultado del factorial
                              ''X0, Y2 de m4 se va a usar para ubicar el result

'*********************************************************************
'Con esto se saca un factorial
'*********************************************************************
clientes = Val(Text2.Text)
ncomb = 1
filam4 = 0
For i = 1 To clientes Step 1
   ncomb = i * ncomb
Next i
Text5.Text = ncomb
ReDim m5 (1, clientes + 1)
m5 (1, 1) = clientes                          'Número de clientes
m5 (0, 0) = ncomb                             'Número de combinaciones por clientes
For i = 0 To clientes - 1 Step 1
   m5 (0, i + 1) = m5 (0, i) / (m5 (1, 1) - i)
   m5 (1, i + 2) = m5 (1, i + 1) - 1
Next i
'*********************************************************************
'Con esto se saca lista del factorial
'*********************************************************************
'cltdiv = ncomb / clientes
'*********************************************************************
'Con esto se saca la primera columna
'*********************************************************************
For k = 1 To m5 (1, 1) Step 1
   For i = 1 To m5 (0, 1) Step 1
      m4 (1, filam4) = k
      filam4 = filam4 + 1
   Next i
```

```
Next k
'*******************************************************************
'Ahora se sacan el resto de columnas
'*******************************************************************
filam4 = 0
X = 0
Dim p, q As Long
For p = 2 To m5 (1, 1) Step 1                    'Número de columnas del proceso
   For i = 1 To (m5 (0, 0) / m5 (0, p)) Step 1 'Número de veces que se realiza el proceso
      For j = 1 To m5 (1, 1) Step 1              'Número que se va a colocar
Vuelve:
         For q = 1 To p Step 1
            If m4 (q, filam4) = j Then
               j = j + 1
               If j > m5 (1, 1) Then
                  j = 1
               End If
               GoTo vuelve
            End If
         Next q
         For k = 1 To m5 (0, p) Step 1           'Número de repeticiones del
                                                  'número a colocar
               m4 (p, filam4) = j
               filam4 = filam4 + 1
               If filam4 = m5 (0, 0) Then
                  GoTo salida1
               End If
         Next k
      Next j
   Next i
salida1:
   filam4 = 0
Next p
''MsgBox ("listo")
For k = 0 To ncomb - 1 Step 1
m = m & m4 (1, k) & "-" & m4 (2, k) & "-" & m4 (3, k) & "-" & m4 (4, k) & "-" & m4 (5, k) & "-"
& m4 (6, k) & "-" & m4(7, k) & vbNewLine
Next k
Text6.Text = m
'*********************************************************************
'Ciclo de medición de distancia
'*********************************************************************
For i = 0 To (conta - 1) Step 1
   lectura = Mid(List2.List(i), 2, 3)
   m3 (0, i) = Val(lectura)
   m3 (1, i) = Val(lectura)
```

```
Next i
dmm = m1(m3(0, 0), 0)
''MsgBox ("dmm= " & dmm)
   For j = 1 To (conta - 1) Step 1
      dmm = dmm + m1(m3(0, j), m3(0, j - 1))
      ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
   Next j
   dmm = dmm + m1(0, m3(0, conta - 1))
   ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
   Text3.Text = dmm
   MsgBox ("Esta es la distancia inicial= " & dmm)
   dmm = 0
For k = 1 To (conta - 1) Step 1
   For i = 0 To (conta - 1) Step 1
      lectura = Mid(List2.List(i), 2, 3)
      m3 (1, i) = Val (lectura)
   Next i
   w = m3(1, k)
   m3(1, k) = m3(1, 0)
   m3(1, 0) = w
   dmm = m1(m3(1, 0), 0)
   ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
   For j = 1 To (conta - 1) Step 1
      dmm = dmm + m1(m3(1, j), m3(1, j - 1))
      ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
   Next j
   dmm = dmm + m1(0, m3(1, conta - 1))
   ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
''*********************************************************************
      For i = 0 To (conta - 1) Step 1
         m3 (2, i) = m2 (0, m3 (1, i))
         List3.List (i) = m3 (2, i)
      Next i
''*********************************************************************
   If dmm < Val (Text3.Text) Then
      For i = 0 To (conta - 1) Step 1
         m3 (2, i) = m2 (0, m3 (1, i))
         List6.List (i) = m3 (2, i)
      Next i
      Text3.Text = dmm
   End If

MsgBox ("comparo esta nueva configuración, si es menor la distancia reemplaza la
distancia anterior. Nueva= " & dmm & ", anterior= “& Val (Text3.Text))
   dmm = 0
Next k
```

```
List3.Visible = False
List6.Visible = True
'*********************************************************************
Dim cl, cm As Long
Dim h As Double
Dim multi As Double
multi = 1
j = Val(Text5.Text)                          'Número de combinaciones posibles.
For i = 1 To 8 Step 1                        'Con este ciclo se consigue un número mayor
   multi = 10 * multi                        'al múltiplo de 10 mas cercano superior
   If multi > j Then   'al n!
      Exit For
   End If
Next i
Randomize
De nuevo:
h = Rnd                                      'Se saca el randómico.
h = multi * Rnd                              'Se multiplica por el múltiplo de10 superior
If h > j Then                                'a la combinatoria.
   GoTo denuevo                              'Si es mayor vuelve y realiza esta acción.
End If
Text4.Text = Int(h)                          'esto con el fin de colocar dentro del número de
If Int(h) = 0 Then                           'combinaciones al valor aleatorio a operar.
   GoTo denuevo
End If
MsgBox ((m4(1, Int(h) - 1) & "-" & m4(2, Int(h) - 1) & "-" & m4(3, Int(h) - 1) & "-" & m4(4,
Int(h) - 1) & "-" & m4(5, Int(h) - 1) & "-" & m4(6, Int(h) - 1) & "-" & m4(7, Int(h) - 1)))
'*********************************************************************
'Ciclo de medición de distancia
'*********************************************************************

For i = 0 To (conta - 1) Step 1
   List4.List (i) = List2.List (m4 (i + 1, Int(h) - 1) - 1)
   List7.List (i) = List2.List (m4 (i + 1, Int(h) - 1) - 1)
                                                 ‘con esto verifiqué que si estuviera
                                                 ‘guardando correctamente en el vector
Next i
For i = 0 To (conta - 1) Step 1
   lectura = Mid(List4.List(i), 2, 3)
   m3 (3, i) = Val(lectura)
   m3 (4, i) = Val(lectura)
   ‘‘List5.List (i) = m3 (3, i)
                                                 ‘con esto verifiqué que si estuviera
                                                 ‘guardando correctamente en el vector
Next i
dmm = m1(m3(3, 0), 0)
```

```
''MsgBox ("dmm= " & dmm)
   For j = 1 To (conta - 1) Step 1
      dmm = dmm + m1(m3(3, j), m3(3, j - 1))
      ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
   Next j
dmm = dmm + m1(0, m3(3, conta - 1))
''MsgBox ("dmm= " & dmm)
''*********************************************************************
'Revisar el criterio anterior de llegada a origen
Text7.Text = dmm
MsgBox ("Por ESTRATEGIA DE DIVERSIFICACIÓN= nueva distancia:" &
Val(Text7.Text))
dmm = 0
''*********************************************************************
If Val(Text7.Text) < Val(Text3.Text) Then ''Val(Text7.Text) < Val(Text3.Text)
   MsgBox ("Se realiza la exploración de las vecindades, ESTRATEGIA DE
INTENSIFICACIÓN")
   For i = 0 To (conta - 1) Step 1
      lectura = Mid(List4.List(i), 2, 3)
      m3 (0, i) = Val(lectura)
      m3 (1, i) = Val(lectura)
      List5.List (i) = m3 (0, i)                    ' con esto verifiqué que si estuviera
                                                    ‘guardando correctamente en el vector
   Next i
   dmm = m1(0, m3(0, 0))
   ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
      For j = 1 To (conta - 1) Step 1
         dmm = dmm + m1(m3(0, j), m3(0, j - 1))
         ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
      Next j
      dmm = dmm + m1(0, m3(0, conta - 1))
      Text7.Text = dmm
      dmm = 0
   For k = 1 To (conta - 1) Step 1
      For i = 0 To (conta - 1) Step 1
         lectura = Mid(List4.List(i), 2, 3)
         m3(1, i) = Val(lectura)
      Next i
      w = m3(1, k)
      m3(1, k) = m3(1, 0)
      m3(1, 0) = w
      dmm = m1(0, m3(1, 0))
      For j = 1 To (conta - 1) Step 1
         dmm = dmm + m1(m3(1, j), m3(1, j - 1))
         ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
      Next j
```

```
        dmm = dmm + m1(0, m3(1, conta - 1))

        For i = 0 To (conta - 1) Step 1
            m3 (2, i) = m2(0, m3(1, i))
            List5.List (i) = m3 (2, i)
        Next i

MsgBox ("comparo esta nueva configuración, si es menor la distancia reemplaza la
distancia anterior. Nueva= " & dmm & ", anterior= " & Val(Text7.Text))

        If dmm < Val (Text7.Text) Then
            Text7.Text = dmm
            For i = 0 To (conta - 1) Step 1
                m3 (2, i) = m2 (0, m3 (1, i))
                List7.List (i) = m3 (2, i)
            Next i
        End If
        dmm = 0
    Next k
    List5.Visible = False
    List7.Visible = True
Else
    MsgBox ("por CRITERIO DE ASPIRACIÓN utilizando la fórmula= (n!)/(n)")
    cm = Val(Text5.Text)
    cl = Val(Text2.Text)
    ‘‘List4.List (0) = List2.List (m4(1, (cl) - 1) - 1)
    For k = 1 To (cm / cl) Step 1
        For i = 0 To (conta - 1) Step 1
            List5.List (i) = List2.List (m4(i + 1, (k * cl) - 1) - 1)
                                                    ‘con esto verifiqué que si estuviera
                                                    ‘guardando correctamente en el vector
                                                    ''MsgBox (List4.List (i))
        Next i
        For i = 0 To (conta - 1) Step 1
            lectura = Mid(List5.List(i), 2, 3)
            m3 (3, i) = Val(lectura)
            m3 (4, i) = Val(lectura)
            ‘‘List5.List (i) = m3 (3, i)                ' con esto verifiqué que si estuviera
                                                        ‘guardando correctamente en el vector
        Next i
        dmm = m1(m3(3, 0), 0)
        ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
            For j = 1 To (conta - 1) Step 1
                dmm = dmm + m1(m3(3, j), m3(3, j - 1))
                ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
            Next j
```

```
        dmm = dmm + m1(0, m3(3, conta - 1))
        MsgBox ("La distancia es: " & dmm)
        ''MsgBox ("dmm= " & dmm)
        '*********************************************************************
        'Revisar el criterio anterior de llegada a origen
        If dmm < Val(Text3.Text) Then
            Text7.Text = dmm
            MsgBox ("Se aplica criterio de parada en el momento que encuentra una distancia
menor")
            Exit For
        End If
        dmm = 0
    Next k
End If
End Sub

Private Sub List1_Click ()
Dim j As Integer
Text1.Text = List1
'*********************************************************************
'Esta parte carga los clientes que vamos a seleccionar con un sistema
'que no permite que se le introduzca dos veces el mismo cliente.
'*********************************************************************
If conta > 0 Then
    For j = 0 To conta
        If List1 = List2.List (j) Then
            Exit Sub
        End If
    Next j
End If
List2.List (conta) = List1
List2.ItemData (conta) = conta
List6.List (conta) = List1
List6.ItemData (conta) = conta
Conta = conta + 1
Text2.Text = conta

End Sub

Public Function cel(c, f)
If c = 1 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo1
ElseIf c = 2 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo2
```

```
ElseIf c = 3 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo3
ElseIf c = 4 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo4
ElseIf c = 5 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo5
ElseIf c = 6 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo6
ElseIf c = 7 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo7
ElseIf c = 8 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo8
ElseIf c = 9 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo9
ElseIf c = 10 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo10
ElseIf c = 11 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo11
ElseIf c = 12 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo12
ElseIf c = 13 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo13
ElseIf c = 14 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo14
ElseIf c = 15 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo15
ElseIf c = 16 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
cel = Adodc1.Recordset!Campo16
ElseIf c = 17 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo17
ElseIf c = 18 Then
```

```
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo18
ElseIf c = 19 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo19
ElseIf c = 20 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo20
ElseIf c = 21 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo21
ElseIf c = 22 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo22
ElseIf c = 23 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo23
ElseIf c = 24 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo24
ElseIf c = 25 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo25
ElseIf c = 26 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo26
ElseIf c = 27 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo27
ElseIf c = 28 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo28
ElseIf c = 29 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo29
ElseIf c = 30 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo30
ElseIf c = 31 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo31
ElseIf c = 32 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo32
ElseIf c = 33 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
```

```
Cel = Adodc1.Recordset! Campo33
ElseIf c = 34 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo34
ElseIf c = 35 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo35
ElseIf c = 36 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo36
ElseIf c = 37 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo37
ElseIf c = 38 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo38
ElseIf c = 39 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo39
ElseIf c = 40 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo40
ElseIf c = 41 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo41
ElseIf c = 42 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo42
ElseIf c = 43 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo43
ElseIf c = 44 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo44
ElseIf c = 45 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo45
ElseIf c = 46 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo46
ElseIf c = 47 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo47
ElseIf c = 48 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo48
```

```
ElseIf c = 49 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo49
ElseIf c = 50 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo50
ElseIf c = 51 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo51
ElseIf c = 52 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo52
ElseIf c = 53 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo53
ElseIf c = 54 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo54
ElseIf c = 55 Then
Adodc1.Recordset.AbsolutePosition = f
Cel = Adodc1.Recordset! Campo55
End If

End Function
```