

01168 JGJ



**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESTRATEGIA PARA LA PLANEACION DE RUTAS DE DISTRIBUCION  
CON VENTANAS DE TIEMPO**

**ALEJANDRA ALANIS URIBE**

**T E S I S**

**PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
COMO REQUISITO PARA OBTENER  
EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERIA  
(INVESTIGACION DE OPERACIONES)**

**CIUDAD UNIVERSITARIA  
JUNIO DE 1993**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# ESTRATEGIA PARA LA PLANEACION DE RUTAS DE DISTRIBUCION CON VENTANAS DE TIEMPO

INTRODUCCION.	1
CAPITULO I ESTADO DEL ARTE	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Presente de la Investigación de Operaciones	5
1.3 Clasificación de Problemas de Distribución en Areas Metropolitanas.	13
1.4 Herramientas de Solución.	15
CAPITULO II LOGISTICA DE DISTRIBUCION	17
2.1 El Concepto de Logística	17
2.2 Logística Empresarial	22
2.3 Logística de Distribución	30
CAPITULO III.- PLANEACION ESTRATEGICA DE ZONAS DE DISTRIBUCION	37
3.1 La Estrategia en Banda	37
3.2 Modelación de Problemas de Distribución con Ventanas de Tiempo.	45
3.3 Estrategia de Doble Recorrido	55
CAPITULO IV.- CASO DE APLICACION	60
4.1 Presentación del Caso	60
4.2 Estrategia de Ruteo de Doble Recorrido	68
4.3 Resultados.	82
CONCLUSIONES	87
REFERENCIAS	91
APENDICE I ENTREVISTAS REALIZADAS	94
APENDICE II INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA	101

## INTRODUCCION

La mejora continua de las empresas junto con el crecimiento y cambios de las necesidades empresariales presentan nuevos desafíos para la Investigación de Operaciones. En particular los problemas de distribución y/o recolección de mercancías han aumentado, por el crecimiento que se ha venido presentando en las ciudades en las últimas décadas, y ahora las redes de distribución no permiten un ruteo sencillo por lo cual es necesario desarrollar nuevas técnicas. Anteriormente, cuando el número de clientes en las empresas era no mayor que 50, se consideraba relativamente sencillo proponer un método de solución que satisficiera las necesidades y que proporcionara soluciones exactas. En los últimos años un grupo de investigadores (referencias 1-28 apéndice II) se ha dedicado al desarrollo de estrategias de distribución de mercancía en áreas urbanas proporcionando nuevas alternativas. En este trabajo de tesis se propone una estrategia para la planeación de rutas basada en las consideraciones de Carlos F. Daganzo (referencia 1 del Cap 3). Las limitaciones del problema son : la capacidad del vehículo y el tiempo en el que cada cliente está dispuesto a recibir la mercancía (ésto se denomina ventanas de tiempo del cliente). La estrategia se denomina de "Doble Recorrido" (DR); el objetivo principal es lograr la distribución de todos los clientes potenciales y al vez minimizar la distancia total recorrida.

El número total de clientes que existen en una zona se divide en pequeños grupos formando subzonas rectangulares y cada una es atendida por un vehículo. La cantidad de clientes encada subzona depende de la capacidad del vehículo.

El tiempo total de servicio se divide en  $n$  periodos para obtener el tamaño de cada subzona, es decir, para encontrar el ancho y largo óptimo de cada rectángulo. La subzona se recorre  $2n$  veces con el fin de poder distribuir en todos los puntos.

EL OBJETIVO DE ESTA INVESTIGACION DE TESIS ES PROPONER Y VALIDAR CON UN CASO ESPECIFICO UNA ESTRATEGIA INNOVADORA DE DISTRIBUCION DE MERCANCIAS EN AREAS URBANAS.

En el Capítulo 1, se presenta el estado del arte en cuanto al pasado, presente y futuro de la I de O y los problemas de distribución. Se observan los cambios que ha sufrido la I de O en los últimos años, se describen problemas de distribución con características diferentes, tales como el problema del agente viajero, la localización de bodegas, el problema de secuenciación de vehículos, entre otros. También se describen brevemente las herramientas de solución de vanguardia, como son Simulación, Inteligencia Artificial, Redes Neuronales, y Métodos Heurísticos.

En el Capítulo 2 se presenta la importancia de un buen sistema logístico de distribución a nivel empresarial, ya que éste puede llevar a las empresas al éxito ó al fracaso. Para entender ésto se proporcionan diferentes definiciones de logística siendo importante remarcar que la logística involucra todas las operaciones que determinan el movimiento de productos y ésto también se refiere a la distribución física. A nivel empresarial, cada empresa utiliza su propio sistema logístico para adquirir ventaja sobre la competencia, y cada uno utiliza un modo diferente para lograrlo. Claro está que no hay un sistema logístico capaz de hacer que TODO funcione ya que cada empresa tendrá objetivos diversos.

En el capítulo 3 se expone el enfoque expuesto por Carlos F. Daganzo (Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley) para la solución de problemas de distribución de mercancías en áreas urbanas. Para recorrer una zona de distribución se proponen zonas de forma aproximadamente rectangular. El recorrido de la zona es muy sencillo sin formulaciones matemáticas complicadas; también el modelo enfrenta ventanas de tiempo impuestas por los clientes para la recepción de la mercancías. Por lo que ahora el problema se encuentra restringido por la capacidad de cada vehículo y restricciones de tiempo de los clientes. En esta sección Daganzo propone definir períodos de tiempo de distribución dentro de los cuales se podrá distribuir a clientes respetando su ventana de tiempo. En este mismo capítulo se presenta la estrategia de Doble Recorrido. Ya que en el modelo presentado por Daganzo no se contempla que existirán ciertas calles que no se recorren y que puede haber clientes potenciales, se propone un barrido de la zona dentro de un mismo período de tiempo, con lo que se logra una mejor repartición de los artículos a los clientes

En el capítulo 4 se presenta un caso de aplicación del problema de distribución de comida durante 12 horas de trabajo, en una zona comercial del centro del Toluca, en el Estado de México. La zona es aproximadamente rectangular, y se realiza la agrupación de clientes como se indica en el capítulo 3, se muestra cómo se generan las subzonas y la cantidad de clientes en cada una de ellas. Se observará la distancia recorrida mínima obtenida con el modelo que se propone. Con éste último capítulo se hará claro el objetivo de presentar un algoritmo innovador para la solución de problemas de distribución en áreas urbanas.

# CAPITULO I

## ESTADO DEL ARTE

### INTRODUCCION.

En este primer capítulo se presenta de manera muy resumida los avances que se han podido identificar en la I de O, la manera en cómo se pueden resolver los problemas, la incursión de los métodos heurísticos para encontrar soluciones y la situación actual sobre las investigaciones realizadas en cuanto a de los problemas de transporte y distribución.

### 1.1 ANTECEDENTES

"La actividad llamada Investigación de Operaciones se desarrolló durante la Segunda Guerra Mundial, pero sus orígenes pueden remontarse muchos años atrás. Los textos no aparecen sino hasta 1950" <Referencia 1>. Esta disciplina ha sido importante en diversas ramas como economía, administración, psicología, matemáticas y estadística, y en las numerosas ramas de la ingeniería. Esto se debe a que el objetivo de la I.O es proporcionar un método sistemático y racional para los problemas del control de sistemas, mediante la toma de decisiones, las cuales, de alguna forma, producen los mejores resultados a la luz de toda la información que se usa ventajosamente.

### METODO DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES

En la mayoría de los estudios del método científico, se cita la experimentación como algo esencial, pero desafortunadamente ésto, a menudo, no es posible ni práctico, cuando se trata de organizaciones de tipo gubernamental ó empresarial. En la industria por ejemplo, una compañía no puede correr el riesgo de fracasar al llevar a cabo un

experimento que se espera que sea exitoso. Por esta razón el arte de la I.O es realizar un modelo que represente el sistema real y encontrar la solución a éste. Los modelos se representan con ecuaciones, que aunque pueden resultar complicadas desde el punto de vista matemático tienen una estructura fundamental muy sencilla:

$$U = f(X_i, Y_i) \quad (1.1)$$

donde:

U es la utilidad ó valor de la ejecución del sistema.

X<sub>i</sub> son las variables no controlables, pero que afectan a U.

Y<sub>i</sub> son las variables controlables.

f es la relación entre U, X<sub>i</sub> y Y<sub>i</sub>.

Además, frecuentemente se requieren una ó más ecuaciones ó desigualdades, para expresar el hecho de que algunas de las variables controlables (pueden ser todas), solamente pueden manejarse dentro de ciertos límites. Una vez que se tiene construido el modelo pueden usarse algunos métodos para encontrar de manera EXACTA ó APROXIMADA (dependiendo del método de solución) los valores óptimos de las variables controlables, es decir, podemos derivar una solución para el problema a partir del modelo. La forma de hacer ésto depende de la naturaleza del modelo.(Ref. 1)

## 1.2 PRESENTE DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES

Puede considerarse que la dirección más importante que se está desarrollando actualmente para la I.O. sea la combinación de diferentes métodos para producir nuevas técnicas cuantitativas. En vez de ocuparse de la maximización de ganancias ó de la minimización de costos en un área específica de una empresa, la tendencia consiste en incluir muchas

relaciones funcionales a todas ellas en un sistema (referencia 2). En la actualidad se ha prestado mucha atención a la programación heurística por los desafíos que ahora se le presentan a esta disciplina.

Los métodos de solución pueden dividirse en dos categorías: 1.- Métodos Analíticos. 2.- Métodos de Simulación Estas dos categorías se basan en filosofías totalmente diferentes. Los primeros son usados para encontrar soluciones que satisfagan propiedades de un problema. Los métodos de simulación se utilizan para analizar el comportamiento de un problema bajo un conjunto de valores fijos de los parámetros iniciales.

#### **MÉTODOS HEURÍSTICOS**

La programación heurística tiene sus raíces en la investigación sobre inteligencia artificial de Herbert Simon, del Instituto de Carnegie de Tecnología, juntamente con Allen Newell de Carnegie y J.C. Shaw de la Rand Corporation. En la investigación sobre inteligencia artificial la meta es la preparación de programas que instruyan a la computadora cómo comportarse de una manera que los seres humanos llamaríamos inteligente. Cuando las dimensiones de un problema rebasan la capacidad de solución por un método exacto, es posible encontrar un método heurístico que no dé soluciones óptimas pero sí soluciones cercanas al óptimo. Para resolver problemas complejos de tamaños reales existen dos aproximaciones:

a) Cambiar ó simplificar la formulación del problema lo suficiente para que un algoritmo eficiente lo resuelva.

b) Encontrar un algoritmo que produzca una buena solución al problema en su formulación original.

En otras palabras : encontrar una solución exacta a un problema aproximado ó una solución aproximada a un problema exacto.

En ciertas formulaciones matemáticas no siempre es posible la simplificación de problemas, por lo que es preferible una buena aproximación al problema original. Los métodos de solución que producen buenas aproximaciones usando los recursos computacionales disponibles se denominan Métodos Heurísticos.

El número de aplicaciones de los programas heurísticos puede crecer tanto como crezca la inquietud de desarrollar métodos nuevos para solución de problemas y de tener una mejor toma de decisiones. A continuación se muestran algunas de estas aplicaciones de interés en esta tesis:

a) El problema del Agente Viajero.

El problema del agente viajero es uno de los más extensos tratados en la literatura de I.O (Programación Entera). Este problema concierne a un agente viajero que saliendo de una determinada ciudad debe visitar una sola vez  $n-1$  ciudades diferentes y regresar al punto de partida. Si el costo de dirigirse a la ciudad  $j$  desde la ciudad  $i$  es  $C_{ij}$  ( $C_{ij}$  diferente a  $C_{ji}$ ), se debe determinar la secuencia de visita de ciudades, tal que el costo asociado sea mínimo. El objetivo es determinar la mejor ruta que debe seguir un agente desde algún punto de partida, para hacer cierto número de visitas y regresar a su punto de partida original visitando cada ciudad. La mejor ruta es la que ofrece la menor distancia recorrida, el mínimo tiempo en el camino, el costo mínimo ó aquella que optimice algún otro criterio.

Un enfoque para este problema consiste en escoger primero, en forma aleatoria tres ciudades cualesquiera que haya que visitar. Si esas tres ciudades son las únicas que se consideran, y los costos, tiempo, kilometraje ó cualquier otro criterio, fueran iguales para ir de una ciudad a otra cada ruta de las tres ciudades proporcionaría una decisión óptima. (Referencia 3).

Una formulación a este problema es el siguiente

$X_{ij} =$  1, si se visita a la ciudad  $j$  después de visitar a la ciudad  $i$   
0, si no se visita a la ciudad  $j$  después de visitar a la ciudad  $i$ .

$C_{ij} =$  El costo asociado a la visita de la ciudad  $j$  después de visitar la ciudad  $i$ .

$U_i =$  un número real arbitrario.

entonces se requiere

$$\begin{aligned} \text{MIN } Z &= \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n C_{ij} X_{ij} \\ \text{s.a.} \end{aligned}$$

$$\sum_{i=0}^n X_{ij} = 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=0}^n X_{ij} = 1, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$U_i - U_j + nX_{ij} \leq n-1, \quad 1 \leq i \neq j \leq n,$$

$$X_{ij} = 0 \text{ ó } 1 \text{ para toda } i, j.$$

Aunque este problema se ilustra en términos de un agente viajero visitando ciudades, se puede considerar el problema de un agente visitando clientes partiendo de un depósito, lo importante es la estructura del problema. Existen una gran variedad de métodos de optimización que resuelven el problema (métodos exactos) dependiendo del tamaño del número de clientes a visitar. Los métodos más populares son los de Ramificación y Acotamiento, pero el resolver problemas

pequeños usando algoritmos de optimación es una situación muy irreal como por ejemplo el visitar 10 ó 20 clientes. La naturaleza compleja del problema y la necesidad de solucionar problemas reales de una manera rápida, han impulsado el desarrollo de algoritmos heurísticos.

El problema del agente viajero se ha trabajado bajo el enfoque de la Programación Lineal, pero su aplicación es algo engorrosa. (Referencia 2).

Una extensión del problema del Agente Viajero es el problema Múltiple del Agente Viajero, donde se necesitan construir más de un viaje de diferentes Agentes Viajeros. Los algoritmos heurísticos que se han desarrollado para este problema son extensiones del problema simple del agente viajero.

#### b) Localización de Bodegas.

Se ha desarrollado un programa heurístico de computadora para determinar la localización más próxima a la óptima de las bodegas regionales para reducir al mínimo los costos de distribución (Referencia 4).

#### c) El problema de Rutas Estocástico

En este problema las demandas de cada cliente fluctúan de manera aleatoria. Otro problema de este tipo es aquel en el que los tiempos de recorrido también son una variable aleatoria. (Referencia 2) .

Golden y Baker (1985) opinan que existe un gran número de problemas que tratar de mayor importancia en la investigación logística que el problema de Rutas Estocástico.

**d) Problemas de Secuenciación de Vehículos.**

(Referencia 3)

Este tipo de problemas concierne a un conjunto de clientes todos con dirección y demanda de servicio de un sólo producto conocidos. A todos estos clientes se les atiende desde un sólo punto, de donde se despachan una serie de vehículos. El problema consiste en diseñar a costo mínimo rutas de estos vehículos basados en las siguientes restricciones:

a) Se debe satisfacer la demanda de servicios por unidad de tiempo de cada cliente.

b) No se puede exceder la capacidad de carga de cada vehículo.

c) No deben excederse el tiempo total del servicio ó bien la distancia total del recorrido no debe exceder de una cantidad prefijada.

d) Debe de atenderse al clientes dentro de un rango de tiempo.

También se pueden tener problemas de distribución combinando diferentes características, como por ejemplo:

\* Si la flotilla de vehículos consiste en un solo vehículo con capacidad de carga bastante grande, tal que se pueden exceder las restricciones b), c) y d), el problema se convierte en el del agente viajero.

\* Si se ignoran las restricciones c) y d) se trata de encontrar el mínimo número de vehículos que cumplan con los requisitos a) y b) a este tipo de problemas se les llama de carga de vehículos ( problema tipo "mochila" <referencia 3> ).

\* Dado un número de vehículos que sea compatible con todas las restricciones, se requiere diseñar la secuenciación de los mismos que darán origen a rutas a costo mínimo. A este tipo de problemas se le llama de Secuenciación de Rutas.

\* Si la localización de los clientes y su demanda permanece constante en todos los periodos de tiempo futuros, se trata de encontrar el tamaño de la flota que, siendo compatible con todas las restricciones, tenga el mínimo costo. A este tipo de problemas se les llama de Determinación del Tamaño de la Flota de Vehículos.

El problema de rutas de vehículos es similar al problema múltiple del agente viajero, sin embargo los vehículos tienen capacidad limitada y cada uno puede satisfacer un subconjunto de puntos. El problema clásico es aquel en el que se tiene un sólo depósito y múltiples vehículos (introducido en 1959). En 1976, 1981, Christofides, que ha venido encabezando las propuestas de métodos exactos, reporta que el problema más largo de rutas de vehículos resuelto por éstos métodos contiene sólo 31 puntos de demanda. Estos algoritmos se pueden dividir en tres categorías:

- i.- Método de búsqueda directos.
- ii.- Programación dinámica.
- iii.- Programación Entera.

Laporte y Nobert (1985) concluyeron que los métodos exactos sólo pueden manejar problemas de dimensiones muy modestas.

El problema de *secuenciación de rutas* fué introducido en la literatura por Dantzig y Ramser (Referencia 9) y modelado como problemas enteros binarios por Balinski y Quandt, Gatvin, Crandall, John y Spellamn y otros.

La formulación matemática es la siguiente. Sea  $N$  el número total de clientes a satisfacer. El cliente  $i$ ,  $i=1, \dots, N$  requiere de  $q(i)$  unidades (por unidad de tiempo) del único

artículo que se distribuye y la distancia entre el cliente  $i$  y el cliente  $j$ , ( $i$  diferente de  $j$ ),  $j=1, \dots, N$ , es  $d(i, j)$  con  $d(i, j) = d(j, i)$ . Se considera que el cliente número 1 es el punto de partida de todos los vehículos.

En el punto de partida existe un número no especificado de vehículos, todos con capacidad de carga de  $Q$  unidades. Por cuestiones de tipo sindical cada vehículo no puede recorrer más de  $K$  kilómetros. Una secuenciación específica de  $k$  rutas,  $R_1, R_2, \dots, R_k$ , en que cada una empieza en el punto de partida (localización del cliente 1), sirve a un número de clientes y regresa al punto de partida. El objetivo es DETERMINAR EL MINIMO NUMERO DE RUTAS QUE SATISFAGAN TODAS LAS RESTRICCIONES, TAL QUE EL COSTO TOTAL DEL RECORRIDO SEA MINIMO.

#### a) Problema de determinación del tamaño de una flota de Vehículos.

Este tipo de problemas puede tener dos presentaciones. En la primera, se supone que todos los vehículos tienen la misma capacidad. El tamaño óptimo de la flota de vehículos se calcula minimizando los costos totales (que incluyen costos fijos y variables). La capacidad de los vehículos se toma como un parámetro, al cual una vez dado un valor determinado, se obtiene un tamaño de flota y un costo óptimo asociado, después se analizan todos los costos resultantes del proceso de parametrización y se escoge el más pequeño de ellos. En la segunda presentación de este problema se relaja la restricción de que todos los vehículos tienen la misma capacidad de carga. (Referencia 10)

### 1.3 CLASIFICACION DE PROBLEMAS DE DISTRIBUCION EN AREAS METROPOLITANAS.

De acuerdo a las características particulares que cada problema de distribución puede tener, se puede hacer una clasificación de cada problema de acuerdo a las siguientes características:

#### \* LA INCLUSION O NO DE LA RECOLECCION

Los problemas de distribución pueden ser exclusivamente de distribución ó de distribución y recolección. En el primer caso únicamente se trata de transportar los productos del(los) depósito(s) a los centros de consumo. En el caso de que exista también recolección, se recoge mercancía de los centros de consumo y se transporta a los centros generales de distribución (depósitos).

#### \* CANTIDAD DE VEHICULOS.

En los problemas de distribución pueden estar involucrados uno ó más vehículos de distribución.

#### \* LA EXISTENCIA DE LUGARES REGISTRADOS.

Los problemas de distribución pueden dividirse en problemas en los que la distribución de los productos sólo se realiza a aquellos lugares que se tienen en registro (inventariados), ó en problemas en los que la distribución se realiza a lugares no registrados, ó una combinación de ambos.

#### \* LA FORMA DE RECORRER LOS PUNTOS DE ENTREGA Y/O RECOLECCION.

Tomando la división de problemas de distribución a clientes registrados, éstos a su vez pueden ser divididos de acuerdo a la forma en como recorren los puntos de consumo en : problemas de distribución que siempre se recorren todos los puntos, ó en problemas en donde no siempre se recorren todos los puntos.

#### \* RESTRICCIONES DE TIEMPO

Dentro de los problemas de distribución pueden tenerse restricciones en cuanto al tiempo y éstas pueden ser en cuanto a :

1) Horario de distribución : Se refiere tanto a la duración del servicio de transporte (a veces vinculado a un horario de acceso de vialidad), como al horario específico de recepción de mercancías en los puntos de distribución.

2) Vida del producto: Consiste en la existencia de un tiempo máximo de distribución dentro del cual el producto se conserva en buen estado.

#### \* CANTIDAD DE PRODUCTOS

En los problemas de distribución es posible tener el caso de distribuir un solo producto ó múltiples productos. En éste último es posible armar un mezcla de productos (mix) para cada destino, ya sea en el centro de distribución ó en en centro de consumo.

#### \* TIPO DE ENTREGA

La entrega en un problema de distribución puede ser definida ó no. Se entiende por definida cuando se hace un pedido anticipado al centro de distribución y como no definida cuando el pedido se realiza en el centro de consumo.

#### \* RESTRICCIONES DE CAPACIDAD

Los problemas de distribución pueden ser divididos en problemas en donde los vehículos tienen una capacidad limitada ó en los que no la tienen. Entendiéndose como problemas con límite de capacidad aquellos cuya unidad ó tamaño del lote de entrega del producto sea una fracción significativa de la unidad de carga.

Los problemas de distribución y/ó recolección pueden contener algunas de estas características y dependiendo de la combinación de ellas se deberá emplear el método adecuado para resolverlo. (Referencia 7)

## 1.4 HERRAMIENTAS DE SOLUCION .

Por los avances tecnológicos de las últimas décadas se han desarrollado herramientas para solucionar ciertos problemas de importante complejidad. Estas herramientas también han servido para el apoyo en la toma de decisiones. Se ha mencionado que en el caso particular de problemas de vehículos ( y todos los mencionados anteriormente), el uso de métodos exactos está limitado por el tamaño del problema, por lo que estas herramientas pueden ser una de las salidas para encontrar un solución a un problema de grandes dimensiones.

### A) SIMULACION.

La simulación es una herramienta muy importante que se ha venido utilizando como un método para evaluar las políticas en logística y en la administración de la distribución. La necesidad de modelos matemáticos complejos hace intratable el modelo computacionalmente y una alternativa razonable es la simulación. Los métodos de simulación son usados para analizar el comportamiento de un problema bajo un conjunto de valores fijos de los parámetros iniciales.

Golden y Skiscim (1986) tomaron ventaja en la analogía entre mecanismos estadísticos de sistemas físicos multivariados y optimización combinatoria que pueden ser usados para desarrollar una estrategia general para resolver problemas discretos de optimización. El método llamado "SIMULATED ANNEALING" (referencia 6) se apoya en afirmaciones probabilísticas con un incremento de la función objetivo a través de un conjunto de parámetros controlados por el usuario.

### B) SISTEMAS EXPERTOS.

Los sistemas expertos es un desarrollo en el campo de la inteligencia artificial que ahora está disponible para su uso en microcomputadoras, mini y main frames. es una

posibilidad interesante para investigaciones en logística involucrando el manejo de un sistema experto con un sistema interactivo de optimización basado en rutas de vehículos.

Dentro del tema de sistemas expertos se tiene lo que ahora se conoce como Redes Neuronales. Un método simple de combinar redes neuronales con sistemas basados en reglas, es partir el problema en varias piezas. Suponga que se tiene un problema complejo, como el de programar un gran número de vehículos de distribución (diariamente). Cada día se debe determinar que paquetes deberán ir en cada vehículo (la carga del vehículo) y cual es la ruta más eficiente para cada vehículo considerando todas las paradas.

Los investigadores Joseph Bigus (de IBM) y Keith Goolsbey (Universidad de Texas) encontraron que podían dividir el problema en bloques. Un bloque a resolver es la carga que tiene que ir en cada vehículo y el otro bloque es determinar la mejor ruta de distribución para cada vehículo. Para resolver el problema usaron una red neuronal de optimización para encontrar una trayectoria eficiente para cada vehículo <REFERENCIA 8>.

posibilidad interesante para investigaciones en logística involucrando el manejo de un sistema experto con un sistema interactivo de optimización basado en rutas de vehículos.

Dentro del tema de sistemas expertos se tiene lo que ahora se conoce como Redes Neuronales. Un método simple de combinar redes neuronales con sistemas basados en reglas, es partir el problema en varias piezas. Suponga que se tiene un problema complejo, como el de programar un gran número de vehículos de distribución (diariamente). Cada día se debe determinar que paquetes deberán ir en cada vehículo (la carga del vehículo) y cual es la ruta más eficiente para cada vehículo considerando todas las paradas.

Los investigadores Joseph Bigus (de IBM) y Keith Goolsbey (Universidad de Texas) encontraron que podían dividir el problema en bloques. Un bloque a resolver es la carga que tiene que ir en cada vehículo y el otro bloque es determinar la mejor ruta de distribución para cada vehículo. Para resolver el problema usaron una red neuronal de optimización para encontrar una trayectoria eficiente para cada vehículo <REFERENCIA 6>.

# CAPITULO II

## LOGISTICA DE DISTRIBUCION

### INTRODUCCION

En este capítulo se describe el concepto de logística en la industria y su importancia dentro de las empresas en particular en la distribución física. se presenta a la logística como un ingrediente para el éxito competitivo. Por otro lado se describe la importancia de definir el servicio que cada empresa tiene como objetivo brindarle al cliente. Cuando se reconoce que es necesario organizarse para administrar la distribución física frecuentemente se encuentra que se tiene un sistema de distribución que no se adecúa a las necesidades y a los costos de la empresa. Esto surge por una mala definición de distribución. A continuación se presenta la organización típica de las empresas y la logística como uno de los componentes principales.

### 2.1 EL CONCEPTO DE LOGISTICA.

En los últimos años se maneja el concepto de logística en la industria. Es importante la claridad de este concepto para entender su uso, así como lo que es un sistema logístico y los conceptos que están involucrados.

Existen diferentes definiciones y algunas de ellas son las siguientes(referencia 1):

1.- Logística se define como el diseño y operación de sistemas físicos, administrativos y de información necesarios para el movimiento de bienes en un tiempo y espacio.

2.- Logística es una técnica de control y de gestión de flujos de materias primas y de productos, desde sus fuentes de aprovisionamiento a las de consumo.

3.- Logística es el conjunto de actividades que tienen por objetivo la colocación a menor costo, de una cantidad de producto, en el lugar y en el tiempo donde una demanda existe. (ASLOG Association des Logisticiens D'Enterprises-Francia).

Entonces, la logística involucra todas las operaciones que determinan el movimiento de productos: localización de unidades de producción y almacenes, aprovisionamiento, gestión de flujos físicos en el proceso de fabricación, embalaje, almacenamiento y gestión de inventarios, manejo de productos en unidades de carga y preparación de lotes a clientes, transportes y DISEÑO DE DISTRIBUCION física de productos (ASLOG Association des Logisticiens D'Enterprises-Francia).

Esta última definición aclara los conceptos que involucra la logística. Es necesario remarcar, dentro de la definición el hecho de que "la logística involucra todas las operaciones que determinan el movimiento de productos ..." , así como también el caso particular de diseño de distribución física. Estos dos conceptos son importantes dentro del desarrollo de este trabajo de tesis.

Cuando la mano de obra directa representaba la mayor parte de los costos de manufactura, y a su vez, la manufactura constituía la parte más importante de los gastos de operación, la capacidad competitiva general tenía muy poco que ver con el dominio de la logística. Evidentemente el manejo de flujos de materiales, componentes y productos terminados era una responsabilidad que no se podía eludir, pero que raras veces significaba la diferencia entre el éxito y el fracaso en el mercado.

En la actualidad, el dominio de la logística se ha convertido en un ingrediente indispensable del éxito competitivo. Un sistema logístico mal llevado puede provocar una gran variedad de problemas (referencia 4).

Para la alta gerencia, la logística solamente es un término, que se utiliza para designar la distribución física, es decir, para darle un nombre a todo lo que le sucede a un producto, desde que sale de la fábrica hasta que llega a manos del cliente. Este enfoque subestima peligrosamente el costo de transporte y almacenamiento de productos semiterminados e ignora por completo el gasto de sistemas indispensables de cómputo y planeación. Por otro lado oculta las causas de la entrega deficiente, de la elevada existencia de productos

terminados y del incremento en los costos de transporte. Es cierto que los gerentes que están de acuerdo con LOGISTICA = DISTRIBUCION FISICA probablemente lograrán reducir el inventario de productos terminados a corto plazo, pero pasarán por alto los problemas a nivel estructural hasta que el agotamiento de los productos ó el retraso en su entrega sea la principal preocupación.

Toda empresa dedicada a la producción y venta de artículos es un sistema que se encarga de diseñar, fabricar y distribuir bienes para los clientes. Cuando la logística se define adecuadamente como el CONJUNTO TOTAL de actividades relacionadas con el movimiento de materiales, incluyendo los sistemas de control e información constituye una veta que abarca todos los cargos operativos tradicionales; desde la obtención de materias primas, hasta la entrega de los productos.

En realidad, precisamente porque la logística comprende una alta variedad de actividades, tomar las cosas en serio significa ser consciente del efecto sutil pero poderoso que tiene la logística sobre las decisiones que se toman dentro y entre las áreas operativas regulares. Bajo este enfoque se pueden mencionar 3 categorías de costos, muy similares:

\* Los costos por manejo y transporte que son obvios y controlados. Las empresas generalmente tienen una buena idea del monto de estos costos.

\* Los costos relacionados con el inventario que por lo general se subestiman. Si se toman en cuenta las tasas de interés y el costo anual por manejar las existencias del inventario puede ascender aproximadamente a una tercera parte de su valor.

\* Los costos de personal y cómputo, que son los menos evidentes y por lo tanto los que con frecuencia se pasan por alto, éstos últimos implican el funcionamiento del sistema logístico, incluyendo los gastos de predicción de la demanda, los de planeación de la capacidad de la fábrica, la obtención de materiales y procesamiento y entrega de pedidos..

### 2.1.2 FORMAS PARA MEJORAR.

En un método logístico integrado se ven implícitas alternativas importantes entre la producción continua ó por lotes , entre el almacenamiento automatizado ó manual, entre el abastecimiento central ó periférico. En conjunto estas opciones permiten ofrecer cierto NIVEL DE SERVICIO a clientes, a determinado nivel de costos. Si se recurre a un sistema óptimo, el mejoramiento de servicios redundará en un incremento de costos, y la reducción de costos lleva al deterioro del servicio. No obstante la mayor parte de los sistemas que distan de ser óptimos presentan oportunidades importantes para mejorar tanto los costos como el servicio.

### EFICACIA.

Puesto que las deficiencias hacen que se eleven los costos de logística e inventario más de lo debido para determinado nivel de servicio, la reducción tradicional de costos es la manera más normal de mejorar el desempeño logístico. La eliminación de existencias rezagadas, el establecimiento de reglamentos de pedidos mínimos y la reducción de costos de almacenamiento, por ejemplo, son recusos que pueden aumentar la eficacia, sin que haya que alterar el sistema logístico de la empresa.

### MODIFICACION DEL DISEÑO.

Una forma radical para lograr un desempeño superior es modificar el sistema logístico. Aunque las combinaciones posibles para administrar el flujo de materiales son casi infinitas, la variable más importante en todo sistema logístico es el punto en que el producto se destina a un cliente en particular. Hacia abajo de este punto de inclusión de pedidos (IP), los pedidos de los clientes son los que dirigen los sistemas que controlan el flujo de materiales; hacia arriba son el pronóstico y la planeación los que lo dirigen.

Las empresas que se encargan de elaborar productos del tipo de alimentos enlatados y electrodomésticos menores, en las que el punto de IP se ubica en las bodegas de servicio, diseñan sistemas de distribución para la venta de productos estándar tomados de las existencias locales. Los puntos de IP varían de una industria a otra (CUADRO I), y, sólo algunas compañías tienen los mismos puntos IP en todos sus giros operativos. Es común que la disposición óptima de una empresa incluya dos ó más sistemas logísticos individuales (ó parcialmente diferentes), que se ajusten a los requerimientos de los distintos segmentos de clientes y productos.

PROVEEDOR	DISEÑAR	FABRICAR	ENSAMBLAR	ENTREGAR	INSTALAR	CLIENTES
		Elaborar producto estándar según planes			IP1 Vender de existencias	Ejemplos Artículos eléctricos pequeños
		Elaborar módulos estándar según planes		IP2 Vender sistema fabricado según algunas especificaciones y que ha sido tomado del inventario		Sistema de computa
		Elaborar partes según planes	IP3 Ensamblar y vender del inventario de partes			Muebles de madera
		IP4 Elaborar según pedidos				Maquinaria marítima que funciona con diesel
	IP5 Diseñar y elaborar según pedidos					Refinerías

CUADRO I  
Puntos de Inclusión de Pedidos

### **2.1.3 UN NUEVO EQUILIBRIO.**

Rediseñar un sistema, pocas veces evitará la proliferación de existencias de protección en los diferentes puntos de enlace, entre las funciones en el negocio de una empresa. La solución a este problema consiste en volver a equilibrar el sistema: Identificar los puntos más importantes de armonía en el diseño del sistema logístico, asignar las prioridades de las funciones implícitas, modificar los sistemas de planeación y control conforme sea necesario para ajustar las nuevas armonías. En cualquier nivel del sistema comercial de una empresa hay que buscar la armonía entre el COSTO y el SERVICIO, y la necesidad de volver a equilibrar los objetivos de las funciones que son compatibles.

Por ejemplo, para mejorar los métodos de entrega urgente de pedidos, los gerentes deben entender primero la importancia que tiene la entrega urgente de un producto, para las distintas categorías de clientes.

En todas las actividades de una empresa es inevitable lograr una armonía entre el valor y el costo y puede suscitarse por equivocación ó gracias al estudio razonado. Ningún sistema logístico puede ser eficaz si los gerentes no armonizan los programas de desarrollo de productos, de adquisición de materiales, de producción maestra, de circulación de productos y de ventas.

### **2.2 LOGISTICA EMPRESARIAL**

A medida que la situación industrial se ha ido convirtiendo progresivamente peligrosa para las empresas, los directivos han comenzado a contemplar los sistemas logísticos como fuerte potencial de ventajas competitivas. Es decir que cada empresa utiliza su sistema logístico para adquirir ventaja sobre la competencia, y utiliza un modo diferente para lograrlo, diseñando sus sistema logístico y su política de explotación, de modo que se acoplen estrechamente a la estrategia competitiva elegida.

Es necesario aclarar que no hay un sistema logístico capaz de hacer que todo funcione bien. Hay que llegar a una solución de compromiso entre los diversos objetivos que una empresa pueda tener, como por ejemplo: costos bajos, amplitud de los servicios, flexibilidad ante los cambios de especificaciones de los productos, en el volumen de la producción, en las preferencias de los clientes, etc.

Para poder diseñar un buen sistema logístico principalmente hay que plantear la siguiente pregunta:  
QUE ES LO QUE NUESTRO SISTEMA LOGISTICO DEBE HACER PARTICULARMENTE BIEN?

Identificar este punto clave es una tarea que consiste en acoplar los sistemas logísticos a la estrategia competitiva de la empresa.

#### 2.2.1 EL SERVICIO AL CLIENTE.

Antes de contestar la pregunta anterior se tiene que decidir primero QUE TIPO DE SERVICIO SE VA A PRESTAR (referencia 6), es decir, hay que plantear cómo se puede utilizar el sistema logístico para satisfacer las necesidades de los clientes. Si se está hablando, por ejemplo, del sistema de transporte para la distribución de mercancías, se puede establecer un sistema de transporte configurado de dos o tres escalones: un sistema de transporte a corta distancia entre los almacenes locales y los clientes; otro a larga distancia (condicionado a cargas completas de un camión ó ferrocarril) entre la fábrica y los almacenes y, finalmente, una red para envíos de urgencia. Es fácil ver que una red del servicio de transporte de este tipo es costosa por lo que hay numerosas empresas que preferirían centrar su estrategia de diferenciación en un subconjunto de servicios menos costosos. En la figura 1 se observa que esta elección tiene ciertas consecuencias importantes en cuanto a la política de existencias y a la línea de productos (referencia 5).

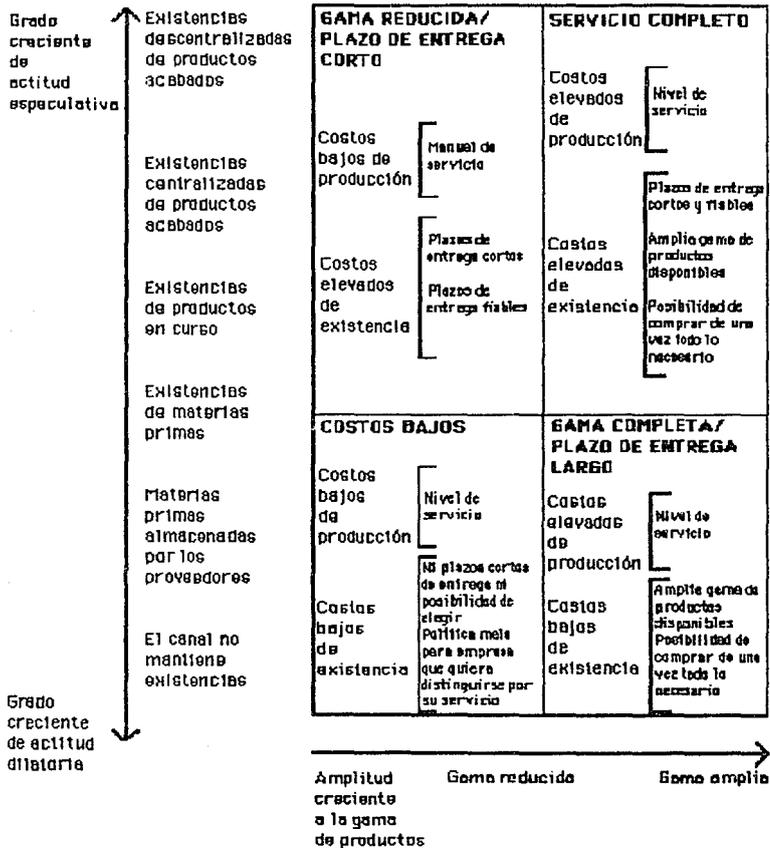


FIGURA 1

LA POLITICA DE EXISTENCIAS Y LA GAMMA DE PRODUCTOS

El eje vertical contempla la política de existencias, en sus extremos se tiene el enfoque de "dilación" (fabricar según pedido) y "especulación" (fabricar para almacén).

El eje horizontal se refiere a la problemática de gama de producto: Dar servicio con una amplitud limitada, pocos productos, ó una gama completa.

Con frecuencias no se presta atención a la interacción entre una y otra política y ésta es importante para la eficacia de un sistema logístico. De esta interacción se tiene como resultado cuatro situaciones:

#### SERVICIO COMPLETO:

En este caso existen dos factores que contribuyen a que los costos sean muy grandes:

1.- Una gama amplia de productos requiere de cambios frecuentes en el utillaje y unos lotes de producción más pequeños. Por lo que se tienen mayores costos de producción.

2.- Los costos de mantenimiento se elevan debido a los mayores niveles de existencias, especialmente cuando van unidos a la proliferación de productos. Pero aún así son costos necesarios si la empresa adopta una estrategia basada en ofrecer un servicio completo.

#### BAJO COSTO:

Una estrategia que excluya la diversificación de los productos, en función de los deseos del cliente, y también la entrega inmediata ó rápida, no es la adecuada si desea distinguirse por el servicio que presta. Sin embargo, sí es apropiada cuando la estrategia consiste en producir al costo más bajo posible ó también, cuando la competencia es lo suficientemente baja y las barreras de entrada en el sector lo suficientemente altas para que la oferta de un servicio no provoque el temor de represalias por parte de los clientes.

Para potenciar su competitividad, las empresas que optan por una estrategia de costos bajos se apoyan menos en los sistemas logísticos, que en la eficiencia de la producción.

### GAMA RESTRINGIDA.

Aquellas empresas que siguen una estrategia concentrada en un determinado servicio suelen buscar una posición de costos moderada, al mismo tiempo que se centran en un aspecto específico de los servicios. La estrategia de ofrecer una gama restringida de productos renuncia a una gama amplia a cambio de unos costos bajos y unos plazos cortos de entrega. Como un ejemplo, a diferencia de la mayoría de los distribuidores que compiten en ofrecer una gama muy completa de productos y plazos cortos de entrega, una empresa que produce producto para restaurantes, ha restringido su lista de clientes, abarca ocho grandes cadenas de restaurantes rápidos y sólo trabaja con un número reducido de productos que éstos emplean.

### GAMA COMPLETA.

Hay empresas que optan por renunciar a unos plazos cortos de entrega a cambio de ofrecer una gama completa de productos. Si el objetivo es ofrecer un servicio rápido de entrega y una gama completa de productos hay que reforzar el control de los costos, por lo que es importante coordinar atentamente la flota de transporte.

#### 2.2.2 COMO ADMINISTRAR LOS SERVICIOS A CLIENTES.

El servicio a clientes tiene un impacto directo y con frecuencia mensurable, sobre las utilidades de una empresa, pero es raro que las empresas presten la atención al servicio al cliente para lograr mejoras. Por ejemplo, la determinación de los verdaderos requisitos del servicio a clientes puede conducir a rediseñar todo el sistema de distribución. la mayoría no analizan la administración de servicios tan cuidadosamente como las funciones de fabricación, mercadotecnia y distribución de productos.

Hoy , la tendencia es que los clientes esperen que el servicio forme parte de lo que compran, de igual manera que lo forman el diseño, la calidad y el precio del producto. Claro está que la importancia del servicio a clientes variará con la industria y con las empresas individuales dentro de la misma industria (referencia 6).

Se mencionó que el servicio tiene efectos directos sobre las utilidades, como se sabe, los agotamientos de las existencias, las demoras en el tiempo de entrega y la falta de servicios de reparación, son factores cuya consecuencia es que se pierdan las ventas, la proporción de un elevado nivel de servicio cuesta dinero, y dicho costo hay que justificarlo en términos del logro de un nivel más alto de ventas de lo que necesitaría si no se ofrecieran tales servicios.

A continuación se presentan seis pasos importantes de manera general, para la administración de servicios al cliente:

#### 1.- DEFINIR LOS ELEMENTOS DEL SERVICIO.

Frecuentemente se interpreta el término "servicio a clientes" de modo que no significa más que el tiempo de entrega; esto es simplificarlo demasiado. El servicio no suele tratarse de un solo elemento sino de muchos elementos. Por ejemplo:

- a) Tiempo de Recepción de Pedidos: Tiempo que transcurre entre el recibo del pedido del cliente hasta que está listo para procesarse.
- b) Tiempo del Procesamiento del Pedido: El tiempo que se necesita para preparar el pedido para embarque.
- c) Tiempo de Entrega: Tiempo que transcurre en tránsito de la planta al cliente.
- d) Confiabilidad de Inventarios: Agotamiento de los inventarios, pedidos atrasados, porcentaje de demanda que se cumple, índice de omisiones, etc.

e) Limitaciones de Magnitudes de Pedidos: Tamaño mínimo de pedidos y frecuencia mínima que se permite.

f) Consolidación Permitida: Capacidad para consolidar artículos desde varias ubicaciones para formar un solo embarque.

g) Consolidación: Gama de variación de cada uno de los elementos anteriores.

## 2) COMPROBACION DE CRITERIOS DE CLIENTES.

Se determinan tres aspectos importantes de los puntos de vista de los clientes respecto al servicio:

\* Lo que le gustaría recibir que ahora no reciba?

\* El significado económico que el cliente da a cada elemento del servicio.

\* Categorización que hace el cliente de los niveles de servicio que proporcionan los competidores de la empresa.

## 3) DISEÑO DE UN "PAQUETE"

El diseño de un paquete de servicios deberá hacerse en forma similar al diseño de un producto: cálculo de los requisitos mínimos para cumplir las necesidades del cliente, identificación de los rasgos que tienen impacto en el cliente con relación a los de la competencia, identificación de posibles cambios compensatorios entre alternativas, y determinación precisa de todos los aspectos económicos.

A través de los últimos 15 años la I de O y la ciencia administrativa han proporcionado una serie de instrumentos administrativos para realizar un análisis económico de las alternativas de servicio, y diseñar un sistema de costos total mínimo, capaz de cumplir determinado requisito de servicio.. El uso de estos medios es esencial para el diseño de un "mejor" paquete de servicios.

#### 4) VENTA DEL SERVICIO.

Es poco estimulante que se desarrolle un paquete de servicios sobresaliente, pero no logre su impacto natural porque su venta ha sido inefectiva. La necesidad de vender el servicio es especialmente importante después de todo movimiento en disminución de costos. Las mejoras de servicio también exigen un esfuerzo de ventas

#### 5) COMPROBACION DEL MERCADO.

La administración debe planificar procedimientos y controles que midan los cambios que muestren las reacciones de los clientes, los costos y los volúmenes, para garantizar la confiabilidad de las comprobaciones hechas por área.

#### 6) CONTROLES DEL RENDIMIENTO.

La dificultad para controlar el servicio se deriva especialmente del hecho de que, generalmente, algunos elementos de servicio no están dentro del control de la empresa. Por ejemplo, el tiempo real de entrega de pedidos a los clientes con frecuencia resultará difícil de determinar a menos de que la empresa opere su propia flotilla de camiones, o realice algunos arreglos especiales. SI VALE LA PENA DAR SERVICIO TAMBIEN VALE LA PENA CONTROLARLO.

#### 2.2.3 LA PRIMACIA EN LOS COSTOS.

A través del tiempo se ha dado un desarrollo empresarial, y por otro lado los costos de materia prima, transporte, energía etc. se han elevado. Por lo que existe la necesidad de adoptar una estrategia general basada en la primacía de los costos y que sea cada vez más atractiva; por ésto los directivos empresariales se apoyan en los sistemas logísticos para formar la estrategia más conveniente.

Cómo puede una empresa configurar su sistema logístico y las políticas conexas, de manera que se minimicen los costos y al mismo tiempo se mantenga, a un nivel aceptable, el servicio al cliente?

Enfocándonos al tema de distribución y transporte, una táctica importante es buscar cuál es la ruta de menor costo para transportar los productos de las fábricas a los almacenes y de éstos a los clientes. Esta táctica es conveniente para las grandes empresas que están en fase de madurez, cuando el servicio se ha vuelto complejo y la expansión geográfica, los diferentes tipos de almacenes existentes son una "pesadilla logística".

## **2.3 LOGISTICA DE DISTRIBUCION**

### **2.3.1 LA ADMINISTRACION DE LA DISTRIBUCION FISICA.**

La administración de la distribución física requiere algo más que nuevas herramientas analíticas. Es demasiado frecuente que las administraciones se muestren encantadas con los métodos de la ciencia administrativa (técnicas de I de O), y que se olviden de algunos aspectos fundamentales, especialmente de la necesidad de realizar mejor la tarea de organizar las actividades de la distribución física. Mediante la aplicación de métodos de optimización al problema de distribución física, han encontrado oportunidades para mejorar las utilidades; sin embargo la utilización de estas técnicas no está dando resultados adecuados si se habla de pérdidas y de ganancias, más que de oportunidades. Esto puede explicarse en parte a que una vez que se ha reconocido que la distribución física es parte importante del costo total, y que la habilidad en la distribución física es un arma competitiva importante, las administraciones han desarrollado la capacidad de analizar y diseñar sistemas de distribución, minimizan el total de todos los costos involucrados; los ejecutivos están encontrando que es mucho más fácil analizar los costos totales de distribución que administrarlos.

La dificultad a la que se enfrentan es el grado de coordinar las actividades de distribución y el grado al que se debe lograr esta coordinación mediante un organización distributiva formal, y no a través de procedimientos y prácticas operativas formalizadas dentro de un patrón de organización tradicional (REFERENCIA 3).

**ENFOQUE DE SOLUCION DE PROBLEMAS.**

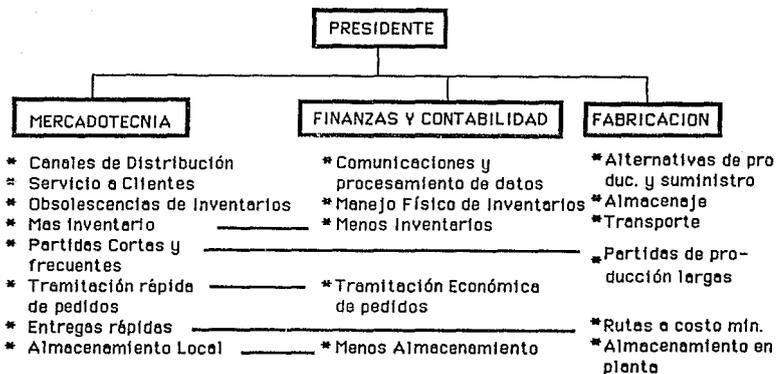
"El valor agregado" por la fabricación, la venta y la distribución, dá cuenta del valor total de los bienes. Estos actos imparten propiedades tangibles, deseabilidad y disponibilidad de los bienes, y la suma de estas cualidades constituyen "el valor".

Desde el punto de vista del cliente, la fabricación crea la calidad del producto, la venta genera su atracción y la DISTRIBUCION PROPORCIONA EL SERVICIO. El valor agregado de la distribución representa todo lo que no está incluido por la fabricación ó la venta, por lo tanto el valor de la distribución es parte significativa del valor total de los bienes, y ,por experiencia, se sabe que los costos de distribución ejercen una mayor influencia en el valor total de los bienes. Esto puede quedar resumido en el siguiente cuadro:

DISTRIBUCION	VENTA	FABRICACION
Materiales Mano de obra Gastos Indirectos Depreciación Investigación Desarrollo Ingeniería	Publicidad Promoción Empeque Actividades de venta Políticas de crédito Utilidades	Costeos Alternativas de Producción y suministro Almacenaje Transporte Manejo Físico de Inventarios Control de Inventarios Comunicaciones y procesamiento de datos Servicio a Clientes.

**CUADRO II**  
**COMPONENTES DE VALOR TOTAL**

Analizando el cuadro anterior se puede decir que si surge un cambio en uno de los elementos de distribución, éste afecte a los demás de alguna manera. Sin embargo aunque existe una relación entre los elementos ; dentro de una organización, la responsabilidad de estos elementos está diseminada. Cada elemento de distribución tiende a perderse entre las demás actividades de mercadotecnia, finanzas y contabilidad, y fabricación. En el siguiente cuadro se puede ver un ejemplo de una organización de una empresa típica de fabricación:



**CUADRO III**  
**ORGANIZACION EN UNA EMPRESA TIPICA DE FABRICACION**

Los objetivos individuales de los ejecutivos de los departamentos de mercadotecnia, finanzas y contabilidad, y fabricación, generalmente están en conflicto. En el cuadro anterior las partes en conflicto serán las representadas por las flechas. En la empresa típica no existe un ejecutivo encargado de administrar todas las actividades de distribución. Cada elemento de distribución tiende a perderse en los elementos de las actividades restantes.

#### ELEMENTOS DE CONSTRUCCION.

Aún cuando se reconoce la necesidad de organizarse para la distribución física, frecuentemente se tiene un sistema de distribución no adecuado a las necesidades y costos de la empresa, es decir que no se tiene bien organizado el sistema de distribución. Frecuentemente el problema surge de una mala definición de distribución.

La tarea de organizar la distribución física no es más fácil que la de mercadotecnia o la de fabricación. Lo que hay que hacer es recordar los principios básicos de la organización, principios que en este caso, comienzan por el establecimiento de distinciones entre actividades propias de la línea y la que son propias del staff.

\* las actividades de línea son las que tienen relación directa con la producción ó venta de bienes ó servicios.

\* Las actividades de staff son primordialmente analíticas, asesoras ó consultoras, y existen para proporcionar servicio y auxliar al personal de línea para producir y vender.

La distribución posee actividades de línea y actividades de staff. Si se observa el cuadro IV , se tiene un resumen de estas actividades .

## LINEA

- Tramitación de pedidos
- Comunicaciones
- Administración de inventarios
- Almacenaje
- Embarque
- Transporte
- Operación de flotilla

## STAFF

- Sistemas y procedimientos
- Análisis de inventarios
- Distribución de almacenes
- Ingeniería de manejo de materiales
- Planificación de territorios
- Coordinación de mercados
- Análisis de costos

### CUADRO IV

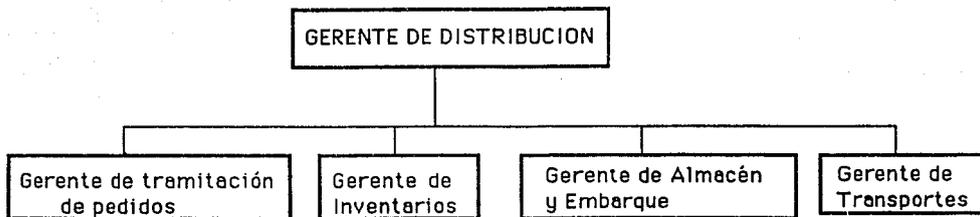
#### ACTIVIDADES DE DISTRIBUCION DE LINEA Y DE STAFF

#### SISTEMAS RESULTANTES

Existen tres formas básicas en que se pueden agrupar las actividades de distribución. Naturalmente es muy raro que estos tres sistemas existan en forma pura, pero la mayoría de las empresas que han conseguido resolver exitosamente su problema de organización de la distribución física, lo han logrado mediante el uso de alguna de estas tres formas básicas:

#### 1.- Agrupar las Actividades de Línea.

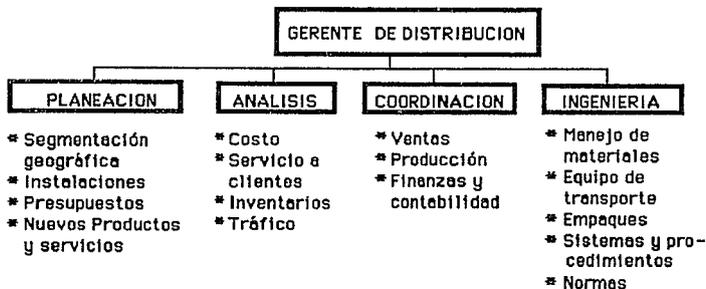
Las empresas agrupan sólo las actividades de línea, cuando ésto se hace se otorga a un individuo la responsabilidad de "realizar" el trabajo de distribución. El gerente de distribución física es responsable de cada acto que la compañía deba efectuar para poder cumplir con los requisitos de servicio al cliente. Es decir, recibe el pedido del cliente, su departamento maneja los pasos del procesamiento del pedido, administra los inventarios y realiza las actividades de almacenaje, embarque y entrega del producto.



**FIGURA 2**  
**AGRUPAMIENTO DE ACTIVIDADES DE LINEA**

**2.- Agrupar las Actividades de Staff.**

Se trata de agrupar unicamente las actividades del staff de distribución. Por ejemplo, el grupo de fabricación se hace cargo del almacenaje y embarque.



**FIGURA 3**  
**AGRUPAMIENTO DE ACTIVIDADES DE STAFF**

Las actividades de distribución de staff se pueden agrupar de varias formas, una de ellas se puede observar en la figura 3. Aquí el departamento de planeación realiza técnicas avanzadas de administración científica (I.O) para determinar modelos óptimos de distribución geográfica y de requisitos de funcionalidad. Este mismo departamento es responsable de presupuestar el costo total de distribución, programar la distribución de los productos nuevos e introducir nuevos servicios de distribución. El departamento de análisis de distribución mide el rendimiento de cada una de las actividades de distribución de línea y lo compara contra los proyectos y presupuesto desarrollados por el departamento de planeación. El departamento de coordinación trabaja con las diversas actividades de distribución de línea en ventas, producción, finanzas y contabilidad, para asegurar que el costo total de la distribución se mantenga al mínimo. El departamento de ingeniería proporciona un conjunto de técnicas de ingeniería de distribución para establecer métodos y normas que puedan ser utilizados por el departamento de planeación.

### 3.- Combinación de las Funciones de Línea y Staff.

Este último modelo está formado por la combinación de las actividades de distribución de línea y de staff y frecuentemente incorpora, además, la función de compra de materiales. Cuando se incluyen las compras, la tarea del gerente de distribución física se amplía hasta cumplir la administración total de materiales y distribución.

La mayoría de las empresas posee una organización para la distribución física, por lo que se han alterado estos tres modelos para ajustarlo a necesidades específicas.

## CAPITULO III

### PLANEACION ESTRATEGICA DE ZONAS DE DISTRIBUCION

#### INTRODUCCION.

Una vez que se ha definido el problema del agente viajero y el problema de rutas de vehículos, ahora nos enfocaremos a la zona en la que se tiene que distribuir la mercancía. La longitud esperada del recorrido del agente viajero cambia con la forma de la zona, por lo que se hace necesario derivar algoritmos para la construcción de viajes óptimos ó cerca del óptimo, así como dar fórmulas de longitud bajo diferentes condiciones. Se desea distribuir mercancía a un gran número de clientes que se encuentran localizados de manera aleatoria dentro de una región y cada vehículo distribuye solamente a  $C$  clientes. Por otra parte también se considera que se tienen restricciones de tiempo tanto del horario de distribución como del horario en el que los clientes reciben los pedidos.

#### 3.1 LA ESTRATEGIA EN BANDA

Considérese  $N$  puntos localizados en una región conectada de un plano,  $A$ , en la que las distancias están dadas ya sea en la métrica Euclideana, (línea recta), ó la métrica Manhattan ("grid"). Se conoce que si el área de  $A$ , es  $A$  y los  $N$  puntos están distribuidos uniforme e independientemente, LA LONGITUD ESPERADA DEL TOUR ,  $D$ , es

$$D \approx \phi (AN)^{1/2}, N \infty \quad (3.1)$$

donde  $\phi$  es una constante desconocida.

Esto se cumple para ambas métricas. Para la métrica euclideana  $\phi = 0.75$ .

La expresión 3.1 se mantiene muy bien para zonas cuadradas y circulares con una  $N$  pequeña. Para  $N=2$  el valor aproximado, para áreas cuadradas es  $1.06 (A)^{1/2}$  y el valor exacto es  $1.04(A)^{1/2}$ ; mientras que para áreas circulares es  $1.03(A)^{1/2}$ .

### 3.1.1 VIAJES EN UNA DIRECCION DENTRO DE UNA BANDA

Considérese una banda de ancho  $w$ , conteniendo puntos distribuidos en forma aleatoria y uniforme, con densidad de puntos  $\delta$  por unidad de área. Considérese también una trayectoria por la que se visitan todos los puntos moviéndose a lo largo de la banda sin regresar hacia atrás, como lo muestra la siguiente figura:

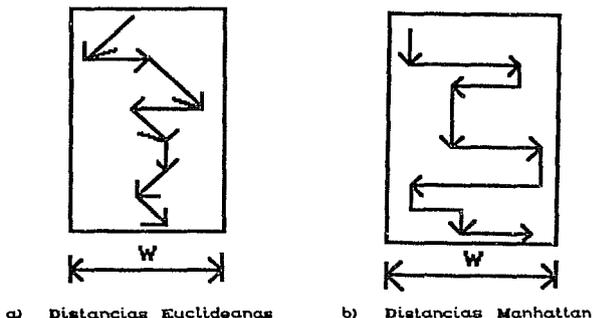


FIGURA 1  
ZONA RECTANGULAR DE LARGO  $L$  Y ANCHO  $w$

La longitud total esperada de una sección de la trayectoria conteniendo  $N$  puntos,  $D_w$  está dada por:

$$D_w = N \, dv \quad (3.2)$$

donde  $dv$  es la distancia esperada entre dos puntos consecutivos.

Denótese X como la distancia aleatoria entre dos puntos consecutivos a lo largo del ancho de la banda, se puede escribir:

$$P(X > x) = (1 - x/v)^2 \quad 0 \leq x \leq v \quad (3.3)$$

Por lo que la Fn de Distribución es

$$P(X \leq x) = 1 - (1 - x/v)^2 = 1 - (1 - 2x/v + x^2/v^2) \\ = x/v(2 - x/v) \quad (3.4)$$

y la Función de densidad:

$$f(x) = dF(x)/dx \\ = d(2x/v - x^2/v^2)/dx \\ = 2/v - 2x/v^2 \quad (3.5)$$

de donde se obtiene que:

$$E(X) = v / 3 \quad (3.6)$$

Sea Y la distancia aleatoria entre dos puntos consecutivos a lo largo del lado de la banda

$$P(Y > y) = e^{-\delta v y} \quad y \geq 0 \quad (3.7)$$

Función de distribución de Y:

$$F(Y) = 1 - e^{-\delta v y} \quad (3.8)$$

Función de densidad  $f_Y(y)$  :

$$f(y) = dF_Y(y) / dy = \delta v e^{-\delta v y} \quad (3.9)$$

La expresión marcada con (3.7) ocurre porque con los puntos distribuidos aleatoria, uniforme e independientemente en la banda, las posiciones a lo largo del lado de la banda en la que sus puntos siguen (localmente) un proceso Poisson con tasa  $\delta v$ .

$$E(Y) = (\delta v)^{-1} \quad (3.10)$$

Haciendo uso de las expresiones anteriores se puede ahora calcular  $dv$ ; por lo que la distancia esperada entre dos puntos consecutivos está dada por:

$$dv = E_{xy} ( X + Y ) \text{ para la métrica } L_1 \text{ (manhattan)} \quad (3.11a)$$

$$dv = E_{xy} ((X^2 + Y^2)^{1/2}) \text{ para la métrica euclideana} \quad (3.11b)$$

Como (3.11a) es lineal se facilitan los cálculos, ya que por ser independientes se obtiene

$$dv = E(X) + E(Y) \quad (3.12)$$

entonces

$$dv = v / 3 + 1/\delta v \quad (3.12a)$$

La ecuación 3.11b puede ser evaluada numéricamente usando las distribuciones de  $X$  y  $Y$ , sin embargo, para la meta final, es necesario usar una expresión más simple que puede ser obtenida usando algunas aproximaciones.

para la métrica euclideana:

$$dv \cong 1/3 + 1/(\delta v) * \psi(\delta v^2) \quad (3.12b)$$

$$\text{donde } \psi(x) = (2/x^2)((1+x)\log(1+x) - x)$$

La función  $\psi(x)$  es lo que marca la diferencia entre las dos métricas.

### 9.1.2 EL ANCHO OPTIMO DE LA BANDA $v^*$ .

Considérese una zona  $A$ , conteniendo un gran número de puntos, e imagine que se corta una banda con ancho aproximado  $v$ , cubriendo toda la zona. Si el patrón de corte es seleccionado independientemente de una localización específica de los puntos, es posible determinar la longitud esperada de un viaje cubriendo todos los puntos utilizando lo descrito en la sección anterior, moviéndose hacia adelante (o hacia atrás) a lo largo de la banda . observe figura 2 y figura 3.

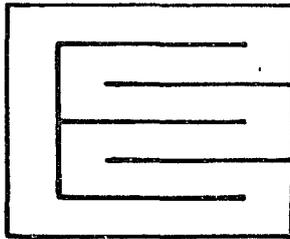


figura 2  
PATRON DE CORTE

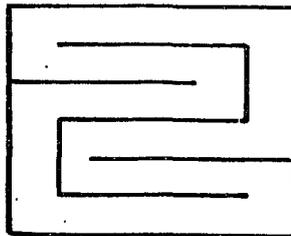


figura 3  
PATRON DE CORTE

Nótese que si  $v$  se selecciona muy pequeña,  $dv$  deberá ser muy grande porque la densidad de los puntos,  $\delta v$ , a lo largo de la banda es muy pequeña. Por otro lado si  $v$  se selecciona muy grande, las desviaciones en zig-zag a lo largo de la banda (distancias comparadas con  $v$ ) pueden ser innecesariamente grandes. El balance correcto será aquella  $v^*$  que minimice la ecuación (3.12a ó 3.12b). Este es:

$$v^* = (3/\delta)^{1/2} \quad (3.13)$$

Este es un valor exacto para la métrica manhattan pero es solo una aproximación para la métrica euclideana. (el valor exacto es  $v^* = (2.95/\delta)^{1/2}$ ). Esta aproximación es lo suficientemente cercana al valor exacto, ya que  $dv$  es más o menos plana (flat) alrededor del óptimo (de su máximo). Note que  $\delta v^2 = 3$ , es un cuadrado con lado igual a  $v^*$  que deberá contener en promedio 3 puntos, como lo muestra la siguiente figura:



figura 4

área del cuadrado por densidad de puntos

Si la banda de ancho  $v^*$  puede ser cortada, los recorridos resultantes tienen distancias esperadas entre puntos intermedios, entonces:

$$d^* = 1.15 \delta^{-1/2} \text{ para } L_1 \quad (3.14a)$$

$$d^* = 0.9 \delta^{-1/2} \text{ para la métrica euclideana.} \quad (3.14b)$$

La ecuación 3.14 se aplica solamente para recorrerse en las coordenadas del enrejado (QUE EL EJE DE LAS X'S).

### 3.1.9 FORMULAS PARA LA LONGITUD DEL RECORRIDO

Tanto como la zona A, es lo suficientemente grande es que la banda de ancho  $v^*$  puede ser construida para cubrir la zona. La ecuación 3.14 será representativa para obtener las longitudes del viaje.

Si la zona es muy angosta y  $v^*$  es más grande que el ancho de la zona tendrá que utilizarse una banda más angosta, y los recorridos serán más largos. La siguiente figura representa este fenómeno:

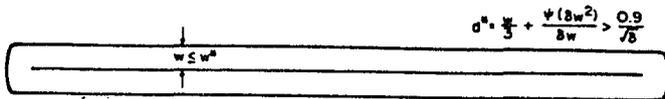


figura 5

$v^*$  ES MAS GRANDE QUE EL ANCHO DE LA ZONA

Para cualquier zona dada, uno siempre puede cortar una banda cuyo ancho partirá de  $v^*$  tan pequeño como sea posible y usarlo como base para construir un buen recorrido.

Regresando a las zonas de forma aproximadamente rectangular, tómese ahora un rectángulo de lados  $l$  y  $l$  ( $l < l$ ).

Si  $v^*$  es menor que  $l/2$ , entonces se aplica la ecuación 3.14, en otro caso se utiliza la ecuación 3.12 con  $v = l/2$  ( $w^*$  es en promedio el lado de un cuadrado con 3 puntos, la mejor  $d^*$  es factible mientras que el lado del cuadrado ( $l$ ) es en promedio de 12 puntos).

Para la métrica euclideana los resultados son:

$$d^* = 0.9 \delta^{-1/2}, \text{ si } \delta l \geq 12 \quad (3.15a)$$

y

$$d^* = 1/6 + 2/\delta l \psi(\delta l^2/4), \text{ si } \delta l^2 < 12 \quad (3.15b)$$

Note que la longitud del rectángulo  $L$  no juega ningún papel en las expresiones anteriores. Si  $l$  se aproxima a cero,  $d^*$  se aproxima a  $2/\delta l$ , que también es cierto para la métrica Manhattan, cuando el rectángulo es orientado con sus lados siguiendo las direcciones de las coordenadas.

La ecuación 3.15b puede escribirse como:

$$d^* = [ (\delta l^2)^{1/2} / 5 + 2 / (\delta l^2)^{1/2} \psi (\delta l^2 / 4) ] \delta^{-1/2} \text{ si } \delta l^2 < 12 \quad (3.15c)$$

donde las dimensiones de la cantidad en corchetes  $\psi(\delta l^2)$  alcanza un mínimo de 0.9, cuando  $\delta l^2 = 12$ , de lo anterior se tiene entonces:

$$\begin{aligned} D &\approx d^* * N \\ &\approx \psi(\delta l^2) \delta^{-1/2} N \\ &\approx \psi(\delta l^2) (NA)^{1/2} \end{aligned} \quad (3.15d)$$

Todo lo anterior es la base para desarrollar cosas nuevas partiendo del problema más sencillo. En el siguiente subcapítulo se observan ciertas modificaciones para desarrollar un problema considerando otro tipo de restricciones, y se presentará una estrategia para recorrer la zona de distribución.

## 3.2 MODELACION DE PROBLEMAS DE DISTRIBUCION CON VENTANAS DE TIEMPO

El objetivo en esta sección es mostrar como los problemas de distribución, con restricciones de tiempo, pueden ser modelados aproximadamente con pocas variables.

Un día de trabajo está dividido en *PERIODOS DE TIEMPO*, se pueden modelar *VENTANAS DE TIEMPO* especificando el período en el cual un vehículo puede visitar a cada cliente. Las expresiones de distancia del recorrido están dadas por la estrategia "cluster first - route second", primero agrupar segundo rutear. La distancia recorrida por una flota vehicular en los problemas de distribución física donde varios destinos tienen que ser atendidos desde un depósito es el determinante más importante en el costo de transporte. Se mostrará que una ubicación de los clientes puede reducir significativamente la distancia recorrida en los viajes debido a las restricciones de tiempo. Las estrategias de ruteo que se presentan son propuestas por Carlos F. Daganzo (referencia 2).

Por otra parte se presenta la propuesta de esta tesis, sobre una nueva manera de recorrido, para no violar las ventanas de tiempo de los clientes, y realizar un barrido de la zona de distribución.

### 3.2.1 PERIODOS DE TIEMPO Y VENTANAS DE TIEMPO.

Considérese que se tiene mercancía la cual tiene que ser transportada del centro de distribución (depósito) a consumidores. Cuando los clientes requieren un servicio, especifican una ventana de tiempo, por ejemplo, entre 8 a.m. y 10 a.m., en el que desean que se les distribuya mercancía. La ubicación y ventana de tiempo de un cliente son conocidos con anterioridad y las rutas pueden ser planeadas con esta información. Se asume que ventanas de tiempo más pequeñas, que un mínimo de longitud, no pueden ser especificadas.

Para modelar ventanas de tiempo utilizando el menor número posible de variables asumimos que el día de operación ( 6 a.m. a 6 p.m.), está dividido en  $m$  periodos de tiempo de igual longitud y que cada cliente se encuentra dentro de un período, para ser consistente con su ventana de tiempo. Esto obviamente lleva a la necesidad de definir una ventana de tiempo para cada cliente y simplifica la búsqueda de una ruta cercana a la óptima.

Con el fin de poner muchos clientes en un período dentro de su ventana de tiempo,  $m$  tiene que ser lo suficientemente grande, tal que cada uno de los períodos de tiempo sea comparable ( de preferencia menor que) con la longitud mínima de la ventana de tiempo. La Tabla I contiene la lista de 24 clientes y las ventanas de servicio que requieren. Se asume que el servicio es de de 6 a.m. a 6 p.m. La tabla presenta el período de tiempo en el que cada cliente puede ser colocado con el fin de minimizar la diferencia esperada entre el tiempo de distribución actual y el requerido. La colocación es desplegada para cuatro niveles de servicio de clientes  $m = 2,4,6,12..$  Por ejemplo, cuando  $m = 6$ , el segundo cliente puede ser colocado tanto en el período de (8 - 10), ó en el de (10 - 12), sin violar sus requerimientos de servicio. la colocación en la tabla fué escogida porque cada período de servicio tiene el mismo número de clientes ( los períodos están balanceados).

CLIENTE	M=2	M=4	M=6	M=12
VENTANA TIEMPO	PERIODO DE 1 HR	PERIODO DE 2 HR	PERIODO DE 3 HR	PERIODO DE 1 HR
7:00 - 8:00	sm *	8-9 *	8-9 *	7-8
8:00 - 11:00	sm *	9-12	8-12	8-9
INSUR	sm	9-12	8-12	17-18
8:30 - 10:00	sm *	8-9 *	9-10	9-10
sm	sm	8-9	10-11	8-9
10:00 - 11:00	sm *	9-12	10-12	11-12
9:00 - 10:00	sm	10-12	10-12	12-14
10:00 - 11:00	sm *	10-12	10-12	12-14
INSUR	sm	8-12	10-12	14-16
10:15 - 11:30	sm *	12-12 *	10-12	16-18
sm	sm	8-9	10-12	12-14
sm	sm	8-9	8-9	7-8
sm	sm	10-12	10-12	12-14
sm	sm	10-12	10-12	12-14
10:30 - 11:00	sm *	9-12 *	10-12 *	16-17
sm	sm	8-9	8-9	8-9
11:00 - 12:00	sm *	12-12 *	12-12 *	14-16
11:00 - 11:00	sm *	12-12 *	14-16 *	16-17
11:00 - 12:00	sm *	12-12 *	16-18 *	17-18
INSUR	sm	10-12	10-12	19-21
12:00 - 1:00	sm	10-12	10-12	11-12
sm	sm	8-9	8-9	8-9
sm	sm	10-12	10-12	12-14

TABLA I

No existe garantía de que puedan obtenerse siempre períodos con el mismo número de clientes cada uno, sin violar restricciones. Si  $\mu$  es muy pequeña es imposible servir adecuadamente a los clientes con ventanas de tiempo muy pequeñas. Por otro lado, si algunas ventanas son muy pequeñas tal que para satisfacer a esos clientes  $\mu$  tiene que ser muy grande, no se podrán tener períodos balanceados; ésto se observa especialmente cuando solamente hay unos pocos clientes con ventanas de tiempo grandes, que pueden ser usados para emparejar la carga através de los períodos.

El modelo utilizado este trabajo de tesis asume períodos balanceados y todos los clientes están colocados en los períodos de tiempo.

Imagine un caso extremo en donde solamente una fracción muy pequeña de los clientes tiene restricciones de ventana de tiempo muy estricta ( $\mu$  muy grande), la distancia recorrida aumenta con  $\mu^{1/2}$ , el costo total del sistema puede aumentar por los requerimientos de unos pocos clientes. En un caso extremo será mejor servir a esos clientes con ventanas de tiempo separada de los demás.

Las siguientes suposiciones son tomadas en cuenta para modelar el problema:

1.- La ubicación de los clientes se asume aleatoria y cercanamente uniforme, distribuidos sobre una región de servicio.

2.- La red de transporte real es aproximada por la métrica Manhattan ( $L_1$ ) (Reja cuadrada de densidad infinita).



En este caso el vehículo realiza  $m/2$  viajes ( $m$  tendrá que ser par en esta estrategia para que sea realmente eficiente). En ambos casos, los puntos son visitados sin regresarse a puntos anteriores a lo largo del rectángulo.

Ahora suponemos que se conoce la velocidad del vehículo  $v$ , el tiempo de parada  $\tau$  y la densidad de clientes  $\delta_0$ , sobre el área de servicio. El vehículo puede hacer a lo más  $C$  paradas, por su capacidad limitada. Consideraremos problemas en los que el área de servicio es grande tal que  $C/\delta_0 \gg 1$ . El objetivo es obtener las dimensiones del rectángulo ( $L$  y  $w$ ) tal que se minimice la distancia recorrida por punto.

### 3.2.8 ESTRATEGIA DE RUTEO DE MITAD DE ANCHO (HALF-WIDTH ROUTING)

Suponga que en el tiempo disponible  $T$ , el vehículo distribuye mercancía a  $S$  clientes;  $S$  representa el número de paradas ( $S = \delta_0 Lw \leq C$ ). Cada período dura  $T/\delta_0$  unidades e incluye  $S/\delta_0$  paradas aleatoriamente distribuidas dentro del rectángulo. La distancia promedio recorrida por el vehículo desde el depósito al rectángulo, dentro del rectángulo y regresar al depósito es:

$$D = (2\rho - L) + 2w + S/\delta_0 \quad (3.16)$$

donde:

$\rho$  = distancia desde el depósito al centro del rectángulo.

El primer término de la expresión (3.16) es la distancia del depósito a la zona de distribución para alcanzar el borde del rectángulo (distancia en línea).

Centremos la atención en zonas lejos del depósito, y  $\rho > L/2$  (de otra manera (3.16) no se aplica).

El segundo término representa la distancia longitudinal recorrida dentro del rectángulo y el tercer término la distancia total transversal. La distancia promedio recorrida por cliente  $d = D/S$  está dada por:

$$d = 2\rho/S + (2n - 1)L/S + n/6 \quad (3.17)$$

Esta función objetivo puede ser modificada para captar el tiempo relacionado con costos de vehículos. Sea  $K_t$  el costo de vehículo relacionado con el tiempo por unidad de tiempo, y  $K_d$  el costo de vehículo relacionado con la distancia por unidad de distancia. Como cada conjunto de  $S$  clientes requiere un vehículo para  $T$  unidades de tiempo el costo por cliente es:

$$TK_t/s + (dK_d) \quad (3.18)$$

donde  $d$  está dada en la ecuación (3.17). Expresando lo anterior en unidades de distancia este costo es:

$$TK_t/K_dS + d \quad (3.19)$$

Así, para minimizar costos de tiempo y distancia simplemente se puede añadir al numerador del primer término de la ecuación (3.17) la constante  $(TK_t/K_d)$ . Alternativamente se puede visualizar  $\rho$  como una constante ya incluida.

Como se puede observar, la estrategia obtenida no depende de  $\rho$ ; y esta estrategia minimiza costo de distancia, costo de tiempo y también minimiza su suma.

Se desea escoger  $L$ ,  $n$ ,  $S$ , tal que se minimice  $d$ . Los valores factibles deben satisfacer lo siguiente:

$$S = \delta_0 L n \leq C \quad (3.20)$$

$$2L/v + S/n (\tau + n/6v) \leq T/n \quad (3.21)$$

La ecuación (3.21) asegura que en promedio los clientes atendidos en un periodo requiere, no más de  $T/n$  unidades de tiempo ( la duración del periodo), ésto no garantiza que las restricciones de ventana serán encontradas para todos los clientes, pero asegura que la mayoría de ellos serán atendidos dentro de su periodo. Se puede introducir alguna holgura en esta restricción para reducir el número de violaciones de periodo a una extensión más grande, pero ésto puede ser costoso, de cualquier modo la implementación es consistente con una implementación práctica de algoritmos, donde los horarios de los vehículos con frecuencia presentan violaciones a las ventanas. Después de sustituir  $S/\delta_0 n$  por  $L$ , se tiene que resolver:

$$\text{MIN } d = 2p/S + (2n - 1)/\delta_0 n + n/6 \quad (3.22)$$

s.a.

$$S \leq C \quad (3.23)$$

$$S \leq vT/(v\tau + n/6 + 2n/\delta_0 n) \quad (3.24)$$

Suponga que  $S$  ha sido escogida y que  $n$  es igual a  $(12n/\delta_0)^{1/2}$  (el valor que minimiza a  $2n/\delta_0 n + n/6$ ). Este valor maximiza el lado derecho de la ecuación (3.24) y aproximadamente minimiza los últimos dos términos de la ecuación (3.22) (para  $n = 2$  se tiene solamente el 1% lejos de la optimalidad); para valores grandes de  $n$  estaremos más cercanos al óptimo. Podemos escoger satisfactoriamente

$$n^* = (12n/\delta_0)^{1/2} \quad (3.25)$$

ya que cualquier valor de  $S$  factible para cualquier otra  $N$  podrá también ser factible si  $N = N^*$ . Esta misma conclusión se aplica si se consideran los efectos finales, pero la  $N$  óptima es más ó menos pequeña. El problema de minimización es:

$$\text{MIN } d \approx 2 \rho/S + (2(2m-1)/360)^{1/2} \quad (3.26)$$

s. a.

$$S \leq C \quad (3.27)$$

$$S \leq \nu T / (\nu T + (4m/360)^{1/2}) \quad (3.28)$$

El segundo término de la ecuación (3.26) es el mínimo de la ecuación (3.22), el lado derecho de la ecuación (3.26) es más simple que el valor actual de  $d$  para  $N = N^*$ .

Está claro que  $S$  debe ser escogida tan grande como sea posible. Pueden tenerse los dos siguientes casos:

#### I.- ARTICULOS GRANDES.

$$C < \nu T / (\nu T + (4m/360)^{1/2}) \quad (3.29)$$

entonces

$$S^* = C, \quad L^* = C / (12m\delta_0)^{1/2} \quad (3.30)$$

y

$$d^* \approx 2\rho/C + (2(2m-1)/360)^{1/2} \quad (3.31)$$

#### II.- ARTICULOS PEQUEÑOS.

$$C > \nu T / (\nu T + (4m/360)^{1/2}) \quad (3.32)$$

entonces

$$S^* = \nu T / (\nu T + (4m/360)^{1/2}), \quad L^* = \nu T / (\nu T (12m\delta_0)^{1/2} + 4m) \quad (3.33)$$

y

$$d^* \approx 2\rho(\tau/T + (1/\nu T)(4m/360)^{1/2}) + (2(2m-1)/360)^{1/2} \quad (3.34)$$

En las ecuaciones (3.31) y (3.34), el último término de  $d^*$  representa la distancia local, y el primer término representa la distancia recorrida del depósito a la orilla de la zona y de ésta al depósito.

Las ecuaciones (3.31) y (3.34) tienen una interpretación física muy simple:

Para artículos pequeños hacemos el rectángulo tan largo como sea posible, tal que se cubre en un período de tiempo y la capacidad del vehículo no puede ser utilizada hasta el tope. Para artículos grandes, la longitud del rectángulo es escogida tal que contenga exactamente  $C$  clientes; cada vehículo tiene entonces algún tiempo libre (ocioso) al final de cada período. Las dimensiones del rectángulo no son afectadas por  $\rho$  en ningún caso.

El número de períodos  $n$  influye en todo. Si  $n$  aumenta, los rectángulos serán cortos pero anchos y la distancia aumenta aproximadamente con  $n^{1/2}$ . La distancia aumenta con  $n$  más rápido cuando los artículos son pequeños a comparación de cuando son grandes. El número de paradas que pueden hacerse en el tiempo  $T$  también disminuyen con  $n$ . Es concebible que si la combinación de parámetros esta bien (e.g.  $vt$  tiende a cero) la naturaleza de los artículos variará de grande a pequeño tal como  $n$  aumenta.

#### 3.2.4 ESTRATEGIA DE RUTEO A TODO LO ANCHO (WHOLE WIDTH)

Esta estrategia no es suficiente si  $n$  es impar, en ese caso este método es inferior al anterior. Asumimos que  $n$  es par. El análisis y los resultados son similares a los anteriores. Lo efectos finales también son ignorados, aunque escasamente notable, estos efectos son pequeños; la distancia local (sobre pronosticada) para  $S/n$  es de 7%, de la ecuación (3.16) se tiene:

$$D = (2\rho - L) + nL + Sn/3 \quad (3.35)$$

Solamente se recorre la longitud de la banda  $n$  veces, pero la distancia transversal se duplica. La relación  $S = \delta_0 n L W$  se mantiene. La minimización del problema dada por las ecuaciones (3.20 - 3.22) ahora es:

$$\text{MIN } d = 2\rho/S + [(n-1)/\delta_0 n] + n/3 \quad (3.36)$$

s.a

$$S \leq C \quad (3.37)$$

$$S \leq \nu T / (\nu T + n/3 + n/\delta_0 n) \quad (3.38)$$

La ecuación 3.38 asegura que en promedio uno puede recorrer la longitud del rectángulo recorriendo  $(S/n)$  clientes en el tiempo  $T/n$ , se deriva de la misma forma que la ecuación (3.22). Note que si  $n = n^*/2$ , el lado de la derecha de la ecuación (3.38) es idéntico al lado derecho de la ecuación (3.38) cuando  $n = n^*$ . Ambas ecuaciones definen los mismos valores factible para  $S$ . Sin embargo la ecuación 3.36 da como resultado una distancia más pequeña que la ecuación (3.22), esto es, la distancia más pequeña  $(\delta_0 n^*)$  unidades más pequeña para ser exactos.

El resultado aproximado de optimar las ecuaciones (3.36) - (3.38), produce zonas que son 2 veces más largas y 2 veces más angostas que antes, con el mismo número de paradas pero una distancia un poco más pequeña. La reducción de la distancia es:

$$\Delta d^* \approx 1/2(360)^{-1/2} \quad (3.39)$$

Esta reducción ocurre por que, con un rectángulo la mitad de ancho pero el doble de largo, las distancias longitudinal y transversal entre paradas con este nuevo método de rutas permanecen iguales, pero la distancia del depósito al rectángulo y viceversa (line haul distance) se reduce. Esta reducción es independiente de  $n$ , pero como  $d^*$  aumenta con  $n$ , comparativamente es más significativo cuando  $n$  es pequeña. La reducción es 20% para  $n = 4$  y 7% para  $n = 12$  (los efectos finales cambian este valor levemente).

### 3.3 ESTRATEGIA DE DOBLE RECORRIDO.

#### INTRODUCCION

Hasta el momento se conoce cómo recorrer la zona una vez que se tienen las ventanas y períodos de tiempo. Se ha llegado a una expresión para calcular el ancho y largo óptimo de la zona ( Referencia 2 ) . En esta sección se presenta una propuesta para recorrer cada rectángulo, asegurando que todas las calles son recorridas por el vehículo y por lo tanto la mayor parte de los clientes son satisfechos.

#### 3.3.1 RECORRIDO DOBLE

Retomando el subcapítulo anterior (3.2) , se proponen dos estrategias de ruteo:

- 1) Ir por una mitad del rectángulo y regresar por la otra (figura 6).
- 2) Ir y regresar por todo lo ancho a lo largo del rectángulo (figura 7).

Sin embargo, el seguir esa forma de recorrido como se muestra en las figuras 6 y 7 de la sección anterior, no se considera que existan clientes en calles paralelas en dirección longitudinal. Esto se observa en la siguiente figura de una subzona cualquiera:

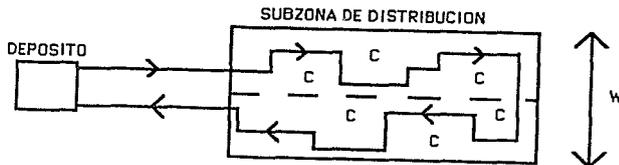


FIGURA 8  
RECORRIDO EN UNA SUBZONA

El vehículo sale del depósito hacia su subzona de distribución, entra y empieza a realizar el recorrido de distribución empezando con el cliente más próximo, pero obsérvese que en caso de tener clientes paralelos, con diferente ventana de tiempo, uno de ellos no será satisfecho ya que el vehículo no realiza recorridos hacia atrás; es decir, no se regresa en la calles que quedaron atrás en su recorrido.

Para estos casos se propone la estrategia de recorrido doble que la muestra la siguiente figura :

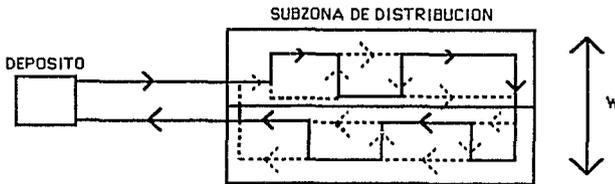


FIGURA 9  
ESTRATEGIA DE RECORRIDO DOBLE

El vehículo sale del depósito hacia su subzona de distribución, entra por la primera mitad del rectángulo y regresa (línea continua), y repite este recorrido tomando las calles en dirección longitudinal que no había recorrido en la primera parte (línea punteada).

Esta forma de recorrer la zona debe realizarse cada periodo de tiempo, esto es, cuando  $m=2$  el vehículo recorrerá la zona  $2m$  veces. El número de clientes para cada periodo quedará repartido entre los  $2m$  recorridos, es decir, cada recorrido tendrá  $S/2m$  clientes. De esta forma el número de ventanas de clientes violadas será mínimo.

La distancia total promedio recorrido por el vehículo estará dada por la siguiente expresión

$$D = (2p - L) + 2(2m)L + 2SN/6 \quad (3.40)$$

El segundo término de la expresión (3.40) representa la distancia total promedio longitudinal recorrida por el vehículo ya que las  $2m$  veces que se recorre la zona también se está recorriendo 2 veces el largo total de la zona. El tercer término de (3.40), se utiliza el valor esperado de la distancia transversal por el número de clientes, y las calles transversales también se recorren 2 veces cada una.

Para encontrar la distancia promedio recorrida entre cada cliente se tiene  $d = D/S$ , y se llega a lo siguiente:

$$d = \frac{(2\rho - L)}{S} + \frac{4mL}{S} + \frac{Sn}{3S} \quad (3.41)$$

$$d = 2\rho/S + \frac{(4m - 1)L}{S} + n/3 \quad (3.42)$$

Para formular el modelo a resolver, teniendo como función objetivo la expresión (3.42) se tomará en cuenta la restricción de capacidad de los vehículos :

$$S \leq C \quad (3.43)$$

donde  $S$  = número de clientes.

$C$  = capacidad del vehículo.

y por otra parte:

$$4L/\nu + \frac{S}{2m}(\tau + n/3\nu) \leq T/2m \quad (3.44)$$

sustituyendo  $L$  por  $S/\delta n$  en 3.44, queda

$$\frac{4S}{\nu\delta n} + \frac{S}{2m}(\tau + n/3\nu) \leq T/2m$$

que con operaciones algebraicas se llega a la siguiente desigualdad:

$$S \leq \nu T / ((8m/\delta n) + \tau\nu + n/3) \quad (3.45)$$

donde:

S = número de clientes en la subzona.

v = velocidad del vehículo.

w = ancho de la zona.

$\tau$  = tiempo de parada con cada cliente.

T = tiempo de duración del servicio

m = número de periodos de tiempo en los que está dividido T.

Escribiendo el modelo resultante que se tendrá que resolver, tomando las expresiones 3.42, 3.43, 3.45, y sustituyendo  $L = S/\delta w$  en 3.42, queda:

$$\text{Min } d = 2\rho/S + \frac{(4m-1)}{\delta w} + w/3 \quad (3.46)$$

s.a

$$S \leq C \quad (3.47)$$

$$S \leq vT/((8m/\delta w) + \tau v + w/3) \quad (3.48)$$

Se desea encontrar el valor de  $w^*$  que minimice

$$4m/\delta w + w/3 \quad (3.49)$$

Tomando la derivada parcial con respecto a  $w$  e igualando a cero se tiene:

$$\frac{\partial (4m/\delta w + w/3)}{\partial w} = \frac{(-4m\delta)}{\delta^2 w^2} + 1/3 = 0 \quad (3.50)$$

$$\frac{-4m}{\delta w^2} = \frac{-1}{3}$$

despejando  $w$  se llega a

$$w^* = \left[ \frac{12m}{\delta} \right]^{1/2} \quad (3.51)$$

La expresión 3.51 es el valor de  $w^*$  que minimiza 3.49. Observe que la estrategia de recorrido doble no altera la la expresión del ancho óptimo de la zona de distribución propuesto por Daganzo. Esto se debe a que el número de clientes que se encuentran dentro del rectángulo son los mismos, sólo que no

se recorren en  $m$  recorridos sino en  $2m$ ; y cada vez que se recorra la zona se tendrán  $S/2m$  clientes, por lo que en esta estrategia variará la distancia recorrida entre punto y punto.

Substituyendo 3.51 en 3.46 y en 3.48 se tiene:

$$\text{Min } d^* = 2\rho/S + \frac{(4m-1)}{[126m]^{1/2}} + [4m/36]^{1/2} \quad (3.52)$$

s.a.

$$S \leq C \quad (3.53)$$

$$S \leq \nu T / (\tau\nu + 2[5m/36]^{1/2}) \quad (3.54)$$

Al igual que en el subcapítulo 3.2 se derivan dos casos:

*artículos grandes:*

si

$$C < \nu T / (\tau\nu + 2[5m/36]^{1/2}) \quad (3.55)$$

entonces la solución óptima será

$$S^* = C \quad (3.56)$$

$$L^* = C / (12m\delta)^{1/2} \quad (3.57)$$

$$d^* \approx 2\rho/C + \frac{(4m-1)}{(12m\delta)^{1/2}} + (4m/36)^{1/2} \quad (3.58)$$

*artículos pequeños:*

si

$$C > \nu T / (\tau\nu + 2[5m/36]^{1/2}) \quad (3.59)$$

Entonces la solución óptima será (el valor óptimo de  $L$  se encuentra substituyendo  $L=C/(12m\delta)^{1/2}$ , y realizando operaciones algebraicas):

$$S^* = \nu T / (\tau\nu + 2[5m/36]^{1/2}) \quad (3.60)$$

$$L^* = \nu T / (\tau\nu(12m\delta)^{1/2} + 9m) \quad (3.61)$$

$$d^* = 2\rho[\tau/T + \nu/\nu\tau(5m/36)^{1/2}] + [(4m-1)/(12m\delta)^{1/2} + (-\frac{4m}{36})^{1/2}] \quad (3.62)$$

En este último caso, las zonas serán más largas que en la estrategia propuesta en la sección 3.2.

En el siguiente capítulo se presenta una aplicación de esta estrategia, de doble ruteo, para un caso en particular.

## CAPITULO IV

### CASO DE APLICACION

#### INTRODUCCION.

En el caso particular de problemas de distribución, intervienen factores, algunos cualitativos, que no son fáciles de considerar al modelar, ó que son precisamente, aquellos que son "claves" y producen cambios en estos problemas.

Para investigar la situación que existe en México sobre distribución, se realizaron entrevistas a 5 de las principales empresas en México. El resultado de estas entrevistas se presenta en el Apéndice I de este trabajo de tesis. Se deseaba averiguar, principalmente, si se utilizan algoritmos, paquetes computacionales, etc, para el diseño de las rutas, asignación de flota, y el tipo de restricciones que se les presentan; para así generar el panorama en la ciudad. En la mayoría de los casos, la manera de distribuir la decide el chofer del vehículo, así como el recorrido que debe seguir, ya que es una situación que nadie mejor que él conoce.

Se presenta el análisis de una aplicación de la teoría expuesta en capítulos anteriores , se dan resultados y conclusiones sobre el método.

#### 4.1 PRESENTACION DEL CASO.

El objetivo, de la presentación del caso, es mostrar la aplicación de las técnicas expuestas, así como el apoyo que se obtiene en la toma de decisiones. El problema a modelar comprende únicamente distribución de mercancía y restricciones de tiempo. La zona de distribución se encuentra en el municipio de Toluca, Estado de México. Se desea desarrollar un negocio de distribución de comida en la zona comercial del centro de Toluca, este negocio es nuevo por lo que no se tiene seguridad en los clientes que se tendrán; se sabe que

se distribuyen de manera aleatoria y uniforme. Se trata de un servicio de comida atractivo a los empleados de la zona comercial, el cual se presta todo el día de las 8:00 hrs a las 20:00 hrs. El tipo de comida que se maneja varía dependiendo del horario en el que esta sea ordenada (desayuno, comida ó cena). El servicio consiste en recibir la orden por medio de llamadas telefónicas para solicitar cualquier servicio. Lo anterior genera ventanas de tiempo de los posibles clientes y periodos de tiempo de distribución de la empresa. Cada chofer del vehículo entrega el pedido y recibe el pago, lo que requiere de 5 minutos por cada cliente.

#### FLOTA VEHICULAR

La empresa cuenta con una flota vehicular para cubrir la zona de distribución. Todos los vehículos son iguales, independientemente del tipo y marca, la empresa ha diseñado la manera de transportar la comida hasta su destino. Claro está que se pretende que la comida llegue caliente y en buen estado. Para lograr esto, las charolas tienen adaptado un sistema térmico, que no permitirá que se enfríe en un cierto periodo de tiempo, y la comida va protegida de cualquier golpe.

Comenzando con el tipo de vehículo, éste se muestra en la siguiente figura:

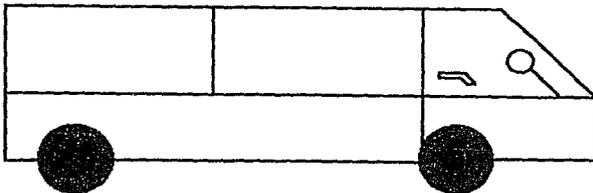
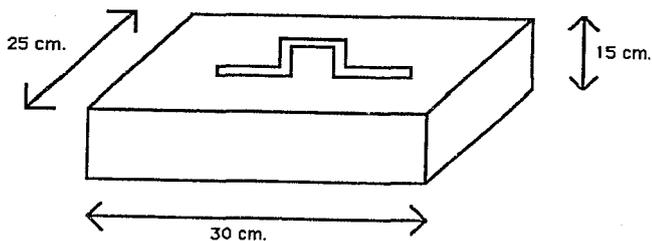


FIGURA A  
VEHICULO DE DISTRIBUCION

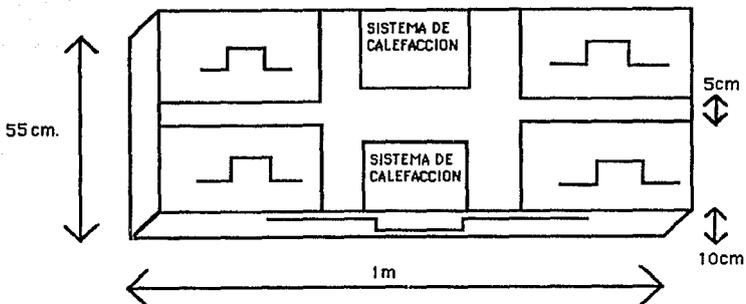
Cada uno de estos vehículos tiene una capacidad de carga de 48 órdenes de comida. Para entender un poco más como se llevan estas comidas hasta su destino dentro del vehículo, se describe como se realiza.

Cada orden es transportada en cajas con medidas fijas, es decir que no importa lo que se ordene que el pedido es entregado de la misma forma. Estas cajas tienen las siguientes medidas : 25 cms de ancho, 30 cms de largo y 15 cms de alto ( figura B)



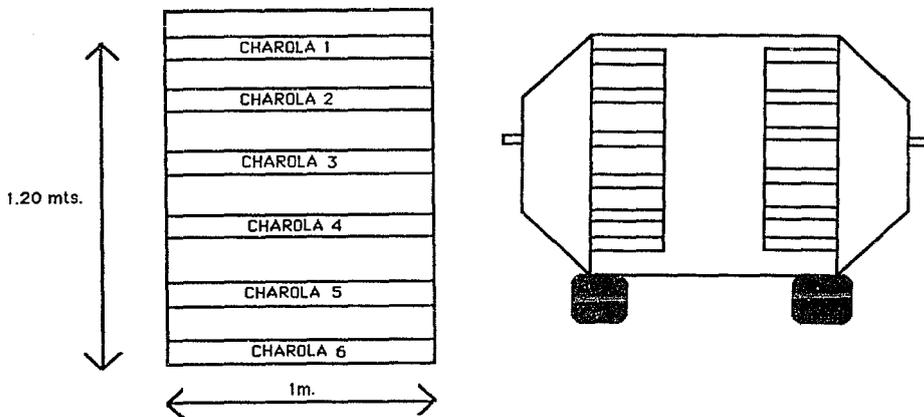
**FIGURA B**  
**CAJAS DE DISTRIBUCION DEL PEDIDO**

Cada una de estas cajas es colocada en una charola y cada charola puede abarcar hasta 4 cajas, es decir, 4 órdenes. La colocación de las cajas en la charola es de la siguiente manera:



**FIGURA C**  
**CHAROLAS PARA TRANSPORTAR LAS ORDENES DE DISTRIBUCION**

Una vez puestas las órdenes en las charolas, éstas son colocadas adentro del vehículo, el cual tiene capacidad para 2 carritos de 6 charolas cada uno, colocados a los lados del vehículo, es decir hacia las paredes laterales del vehículo, por lo que las charolas quedan frente a frente separadas por un pasillo, por medio del cual, el chofer tiene acceso a todas las charolas para entregarlas en su destino. Esto se entenderá mejor observando la figura D.



**FIGURA D**  
**INTERIOR DEL VEHICULO DE DISTRIBUCION**

## DESCRIPCION DE LA ZONA DE DISTRIBUCION

La zona en la que se piensa realizar el servicio de distribución, es tomada de varios mapas del municipio de Toluca, figura E. Para analizar únicamente la zona de distribución tomada de la figura anterior se puede tomar en cuenta la siguiente ilustración, en donde se observa claramente un zona de forma aproximadamente rectangular.

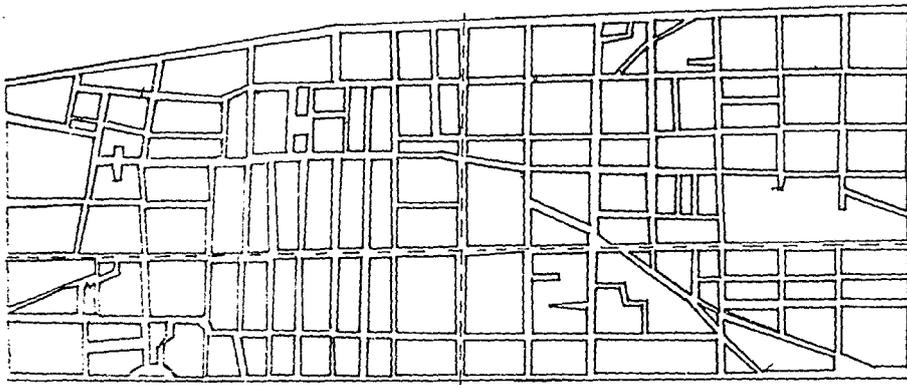


FIGURA F  
ZONA DE DISTRIBUCION

El área de esta zona es de 826 000 m<sup>2</sup>. La calle principal de acceso a la zona es José Ma. Morelos y Pavón (línea horizontal punteada) por lo que se puede considerar que el depósito sea ubicado en el entronque de Miguel Hidalgo y José Ma. Morelos y Pavón (figura G) y tomando en línea recta esta avenida se llega a la zona. También se tiene la opción de la avenida Miguel Hidalgo como acceso y se puede contar con otras dos alternativas que son Constituyentes y Plutarco González.

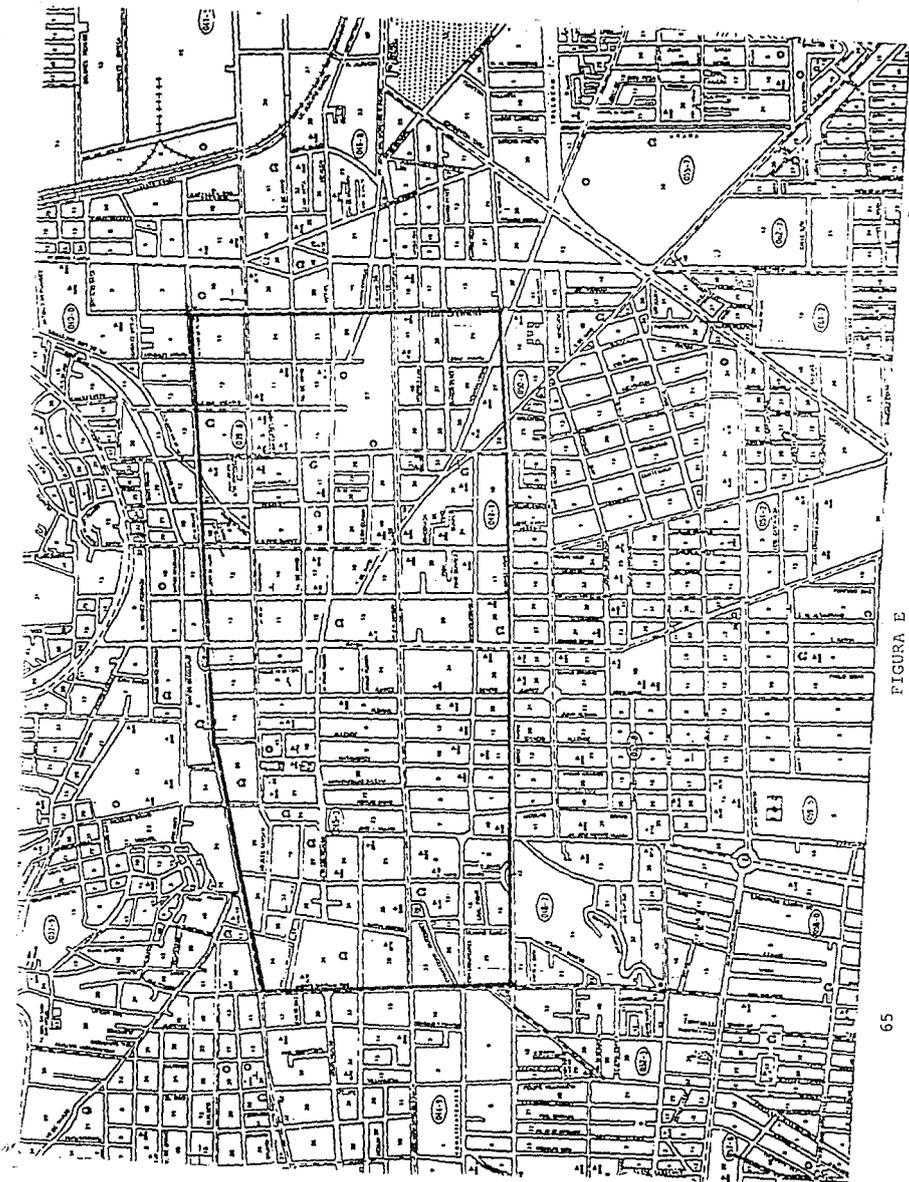
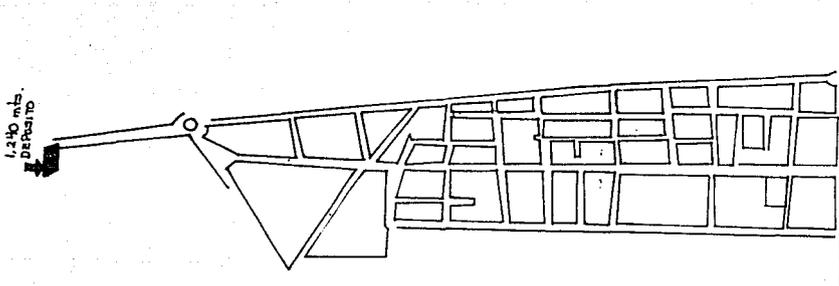


FIGURA E



**FIGURA G**  
**LOCALIZACION DEL DEPOSITO**

**DATOS**

Una vez que se ha descrito la zona de distribución y el problema que se analiza, es necesario contar con ciertos datos para iniciar el proceso:

- a) Posición del depósito (figura a)
- b) Máximo número de clientes  
ó máxima duración del recorrido.
- c) Velocidad del vehículo ( $v$ )
- d) Tiempo parado con cada cliente ( $\tau$ )
- e) Densidad de clientes ó
- f) Duración del servicio

**El objetivo es obtener las dimensiones del rectángulo (L y w) tal que se minimice la distancia recorrida por punto.**

**CLIENTES:**

Por la investigación realizada se encontró que existen 6255 comercios censados en todo el municipio de Toluca, de los cuales se piensa que 3127 se encuentran en la zona en la que se desea distribuir, ya que es una zona totalmente comercial. Obviamente no se piensa que los 3127 clientes harán uso del servicio, por lo que se estima que se podrán tener 500 clientes distribuidos de manera aleatoria e uniforme sobre la zona de distribución.

En la siguiente tabla se muestra las ventanas y períodos de tiempo que se podrían tener.

VENTANAS DE TIEMPO	M-Z	M-d
8-9	am	8-10'
8-9	am	8-10'
8:30-10:00	am	8-10'
8:30-11:00	am	8-10'
8:30-11:00	am	8-10'
8-10:30	am	8-10'
8-10:30	am	8-10'
8-11	am	10-12 *
8-11	am	10-12 *
8-14	am	12-14
10-11:30	am	10-12 *
10-13	am	10-12 *
10-13	am	12-14 *
11-14	am	12-14
11-14	am	10-12 *
am	am	8-10
11-12	am	10-12'
12-13	am	10-12'
10-13	am	12-14 *
11-12	am	10-12'
13-14	pm	14-18 *
13-14	pm	12-14 *
14-18	pm	14-18
12-14	pm	12-14
12-14	pm	12-14
12-15	pm	12-14 *
13-14	pm	14-18 *
12:30-14:30	pm	14-18 *
13-14	pm	14-18 *
17-18	pm	18-20 *
18-20	pm	18-20
14:30-17:00	pm	18-18 *
18-20	pm	18-20'
17-18:30	pm	18-20'
18-20	pm	18-20'
17-18	pm	18-18'
17:30-19:00	pm	18-18'
14-16	pm	14-18 *
18-17	pm	18-18'
18-20	pm	18-20'
18-20	pm	18-20'
12:14-30	pm	14-18 *
18-20	pm	18-20'
19-17	pm	18-18 *
18-18	pm	18-18
18-17	pm	14-18'
17-20	pm	18-20
18-18	pm	18-18

**TABLA I**  
**VENTANAS Y PERIODOS DE TIEMPO**

## 4.2 ESTRATEGIA DE DOBLE RECORRIDO

Recuérdese que en el capítulo anterior, se presentan, principalmente dos estrategias:

- 1.- Estrategia a la mitad del ancho.
- 2.- Estrategia de doble recorrido.

En la sección 3.3, se propuso la segunda estrategia ya que de otro modo habrá clientes a los que no se les distribuya, no por su ventana de tiempo sino por su posición con respecto a otro cliente que no permita tocar ese punto. En esta sección se presenta la aplicación de doble recorrido y las distancias resultantes de la aplicación de la estrategia.

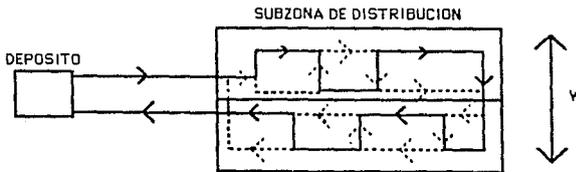


FIGURA H  
ESTRATEGIA DE DOBLE RECORRIDO

Retomando el problema que se analiza en este capítulo, FIGURA F, primero tendrá que hacerse el agrupamiento de clientes. Obsérvese que cada vehículo no podrá transportar más de 48 órdenes por su capacidad limitada, por lo que habrá que encontrar las medidas óptimas ( $L$  y  $w$ ) de cada subzona. Los datos que se tienen hasta el momento son:

velocidad de vehículo	$v = 50 \text{ km/hora}$
Tiempo de parada	$\tau = 5 \text{ min.}$
Densidad de clientes	$\delta = .0006 \text{ clientes/metros}^2$
Capacidad del vehículo	$C = 48 \text{ órdenes}$
Periodo de trabajo	$T = 12 \text{ hrs.} = 720 \text{ min.}$

**OBJETIVO:** Minimizar la distancia recorrida por punto.

También se tienen ventanas posibles de clientes y las doce horas de trabajo dividida en periodos de tiempo; cada periodo de tiempo contiene 12/m horas e incluye S/m paradas, distribuidas aleatoriamente y de manera uniforme dentro del rectángulo. Cada recorrido completo de la zona contiene S/2m paradas.

Como el vehículo sí tiene una limitación de capacidad, es decir que éste sí puede ser saturado, se puede decir que estamos en la categoría de artículos grandes. Esto se puede verificar retomando los resultados expuestos en el capítulo anterior; dados por las ecuaciones 3.52 a 3.54 como sigue:

El problema a minimizar será:

$$\text{MIN } d \approx 2p/S + (4m-1)/(12m\delta)^{1/2} + (4m/3\delta)^{1/2} \quad (3.52)$$

s. a

$$S \leq C \quad (3.53)$$

$$S \leq vT / [v\tau + 2(5m/3\delta)^{1/2}] \quad (3.54)$$

Para probar que este ejemplo corresponde a la categoría de artículos grandes, retomando los resultados del capítulo 3, se prueba de la siguiente forma, utilizando las ecuaciones 3.55 y 3.59 :

artículos grandes:

$$\text{si } C < vT / [v\tau + 2(5m/3\delta)^{1/2}]$$

entonces:

$$S^* = C$$

$$L^* = C / (12m\delta)^{1/2} \quad \text{y}$$

$$d^* \approx 2p/S + (4m-1)/(12m\delta)^{1/2} + (4m/3\delta)^{1/2}$$

substituyendo los datos que se tienen:

$$C = 48 \quad \text{y}$$

$$C < 50(12) / [50(.083) + 2(5m/3(605.32))^{1/2}]$$

para el caso de  $m = 2$

$$C < 600 / [4.15 + 2(10/1815.96)^{1/2}]$$

$$C < 600 / 4.29$$

$$C < 139.5 \quad (\text{sí se cumple para } C = 48)$$

para el caso de  $m = 6$

$$C < 50(12)/(50(.083) + 2(5(6)/1815.96)^{1/2})$$

$$C < 600/4.40$$

$$C < 136.14 \quad (\text{si se cumple para } C = 48)$$

Una vez comprobado que se cumple la condición anterior para la capacidad de los vehículos, se toman para el cálculo de los valores óptimos, las expresiones dadas por 3.56 a 3.58.

#### 4.2.1 CUANDO $m = 2$

Comenzando con  $m = 2$ , se está hablando de que cada vehículo recorrerá su zona  $2m$  veces, esto es, dos veces por la mañana y dos veces por la tarde, ya que este valor de  $m$  indica que las doce horas de trabajo se dividirá por 4.

En base a la teoría se puede encontrar el valor óptimo del ancho del rectángulo:

$$m^* = [12m/6]^{1/2} = [12(2)/.0006]^{1/2} = 200 \text{ mts.} \quad (4.1)$$

El valor será de 200 metros que dentro de la escala utilizada para hacer los cálculo será de 4 cms de ancho. El valor óptimo del largo del rectángulo se calcula como sigue:

$$L^* = C/(12m6)^{1/2} = 48/[12(12)(.0006)]^{1/2} = 400 \text{ mts} \quad (4.2)$$

que en la escala en que se trabaja corresponde a 8 cms. Esto quedará más claro observando la siguiente figura:

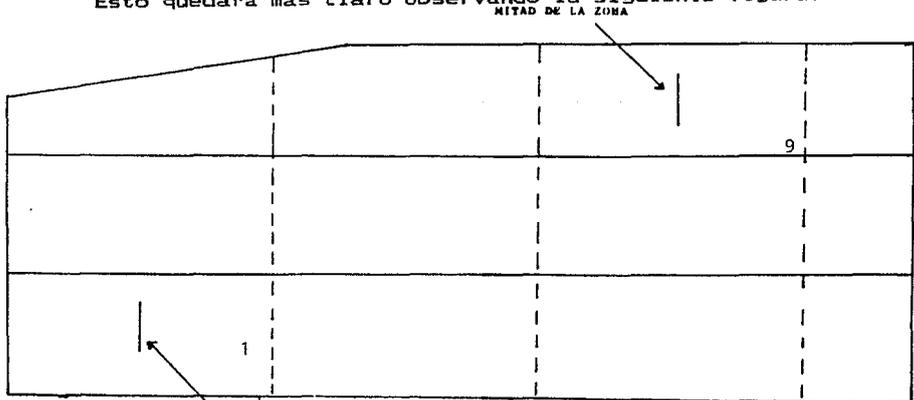


FIGURA I

$v^*$  y  $L^*$  cuando  $m=2$

Analizando la figura anterior, se tiene que al final de la zona una parte de ésta no entra en la agrupación de clientes por subzona. El despreciar esta parte de la zona significa ignorar algunos posibles clientes. Por lo que una solución es que los vehículos de subzonas vecinas intenten surtir a esos clientes, otra solución es incluir dos vehículos adicionales para surtir a esos clientes. Esto último es lo más apropiado por la restricción de la capacidad de vehículos.

Analicemos ahora las distancias que se están recorriendo. Es obvio que no todos los vehículos recorrerán la misma distancia por su posición con respecto al depósito. Esta es la razón de que el valor de  $\rho$  (distancia del depósito al centro de la zona) cambia para cada vehículo. Si se toma una subzona, por ejemplo la marcada en la figura i con el número (1), el vehículo 1 sale del depósito a su subzona y para encontrar el valor de  $\rho$  es necesario ver cuál es la trayectoria a seguir para hacer el cálculo. Esta trayectoria se muestra en la siguiente figura:

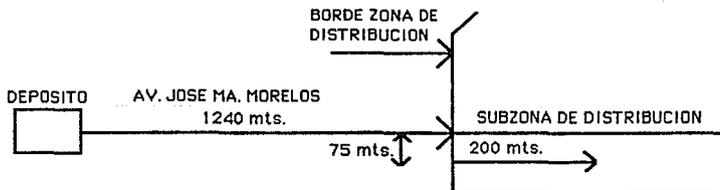


FIGURA J  
TRAYECTORIA DEL VEHICULO (1) PARA ENCONTRAR EL VALOR DE  $\rho$

El vehículo sale del depósito por la calle de acceso principal a la zona Jose Ma. Morelos y Pavón, en el borde de la zona baja una cuadra aproximadamente y entra a su subzona hasta llegar al centro. Utilizando los datos presentados en la figura:

$$\rho = 1240 + 75 + 200 = 1515 \quad (4.3)$$

La distancia que recorre el vehículo del depósito al borde de su zona y de regreso será  $(2\rho - L)$ :

$$(2\rho - L) = 2(1515) - 400 = 2630 \text{ mts.} \quad (4.4)$$

Veamos ahora el cálculo para las distancias longitudinal y transversal promedio totales que recorre el vehículo dentro de su zona:

$$\text{DISTANCIA LONGITUDINAL PROMEDIO TOTAL} = 4mL \quad (4.5)$$

$$= 4(2)(400) = 3200 \text{ mts}$$

$$\text{DISTANCIA TRANSVERSAL PROMEDIO TOTAL} = Sw/3 \quad (4.6)$$

$$= 48(200)/3 = 3200$$

Utilizando estos tres datos se calcula la distancia total recorrida promedio dada por  $D^*$ :

$$D^* = (2\rho - L) + 4mL + Sw/3$$

$$D^* = (2630 + 3200 + 3200) = 9030 \text{ mts.} \quad (4.7)$$

Y con estos mismos datos se encuentra la distancia promedio recorrida entre dos puntos consecutivos sustituyendo los datos en la expresión 3.58.

$$d^* \approx 2\rho/C + ((4m-1)/(12m\delta)^{1/2}) + (4m/3\delta)^{1/2}$$

$$\approx 2(1515)/48 + 7/.12 + 66.65$$

$$\approx 63.125 + 58.33 + 66.65 \approx 188.11 \text{ mts por punto} \quad (4.8)$$

Analizamos ahora la diferencia con las subzonas que se encuentran al final de la zona de distribución, por ejemplo la subzona con el número (9), (FIGURA I). Para encontrar la distancia que recorre el vehículo (9) desde el depósito a centro de su subzona, se ilustra el recorrido y las distancias en la siguiente figura:

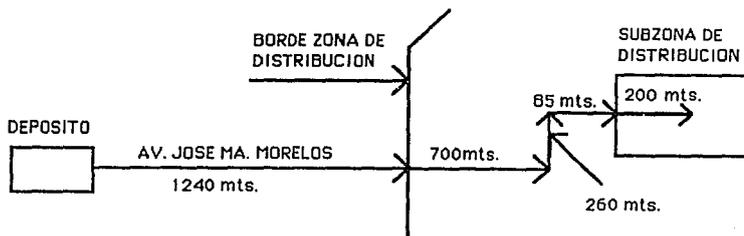


FIGURA K

RECORRIDO DEL VEHICULO (9) PARA ENCONTRAR EL VALOR DE  $\rho$

El vehículo sale del depósito por la vía principal de acceso, José Ma. Morelos y Pavón, llega a la mitad de la zona y sube por Rayón 260 mts. para luego recorrer 85 metros desde Rayón al borde del rectángulo por la calle Independencia. Con esto se puede encontrar la distancia que recorre este vehículo del depósito centro de la zona ( $\rho$ ) como:

$$\rho = 1240 + 700 + 260 + 85 + 200 = 2485 \text{ metros.} \quad (4.9)$$

Y la distancia que recorre este vehículo del depósito al borde de la zona y de regreso es ( $2\rho - L$ ):

$$(2\rho - L) = 2(2485) - 400 = 4570 \text{ mts.} \quad (4.10)$$

Las distancias longitudinal y transversal promedio totales son las mismas que los cálculos anteriores ya todos los rectángulos son iguales, es decir 3200 mts y 3200 mts respectivamente. De la misma manera que en el caso anterior, se calculan la distancia total promedio  $D^*$  y la distancia promedio por punto:

$$D^* = 457 + 3200 + 3200 = 10970 \text{ metros.} \quad (4.11)$$

y

$$d^* \approx 2(2485)/48 + 77.12 + 66.66 \\ = 103.54 + 58.33 + 66.66 \approx 228.53 \text{ metros.} \quad (4.12)$$

Observamos que todo el cambio radica en la distancia que existe del depósito al centro de la zona de distribución. Veamos ahora las distancias que corresponden a una de las subzonas (10, 11, 12) de la figura k, que por la partición óptima que se hizo resultaron con ancho óptimo de 200 metros y largo de 175 metros. Si tomamos la subzona (12) el vehículo sale del depósito por José Ma. Morelos, llega a Rayón, sube y toma Independencia y llega al centro de la subzona. Este recorrido y las distancias correspondientes se ilustran en la figura l.

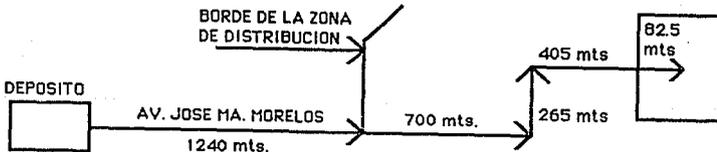


FIGURA L

RECORRIDO DEL VEHICULO 12 PARA ENCONTRAR EL VALOR DE  $\rho$

De la misma forma que con las subzonas anteriores

$$p = 1240 = 700 + 265 + 405 + 82.5 = 2692.5 \text{ metros} \quad (4.13)$$

Y la distancia recorrida del depósito al borde de la zona y de regreso dada por  $(2p - L)$  es :

$$(2p - L) = 2(2692) - 175 = 5210 \text{ metros.} \quad (4.14)$$

$$\text{DISTANCIA TOTAL LONGITUDINAL} = 4mL = 4(2(175)) = 1400 \text{ MTS.} \quad (4.15)$$

$$\text{DISTANCIA TOTAL TRANSVERSAL} = 24(200)/8 = 1600 \text{ mts} \quad (4.16)$$

Para encontrar la distancia promedio transversal y la distancia promedio entre cada cliente, no se toman los 48 clientes sino más bien la mitad, ya que existen 48 clientes si el largo de la zona fuera de 230.94, pero el largo actual es 60 metros más que la mitad, por lo que se considera que no existen 48 clientes en esas subzonas. Utilizando 3.5:

$$\begin{aligned} d_k &\approx 2(2692)/24 + 58.33 + 66.66 \\ &\approx 224.375 + 58.33 + 66.66 \approx 349.36 \text{ por punto.} \quad (4.17) \end{aligned}$$

Esta distancia entre cada cliente indica que están más separados estos clientes. Hasta el momento hemos analizado solamente lo que sucede cuando se recorre la zona en dos periodos a.m (8 hrs a 14 hrs) y pm (14 hrs a 20 hrs) en el siguiente subcapítulo se recorre cada rectángulo 12 veces ( $m=6$ ).

#### 4.2.2 CUANDO $m = 6$

Tomemos ahora el caso cuando  $m = 6$ , esto indica que cada vehículo recorre su zona de distribución 12 veces, períodos de  $12/(6) = 2$  hora cada uno. Pero esas dos horas de cada período se dividen entre dos para realizar el doble recorrido en cada período. Para que esto pueda ocurrir las subzonas tendrán que contener menos clientes y serán menos largas en comparación con  $m = 2$ . El ancho óptimo de cada rectángulo ahora es de

$$N^* = (12m/6)^{1/2} = (12(6)/.0006)^{1/2} = 346.41 \text{ mts (4.18)}$$

y este valor, dentro de la escala en la que se manejan los mapas, corresponde a 6.92 cms. El largo del rectángulo tendrá que ser:

$$L^* = C/(12m6)^{1/2} = 48/(12(6)(.0006))^{1/2} = 230.94 \text{ mts (4.19)}$$

que corresponde a 4.62 cms en la escala de los planos.

Ya que se encontraron las medidas óptimas se realiza la agrupación de clientes y partición de la zona que queda ilustrada en la figura M.

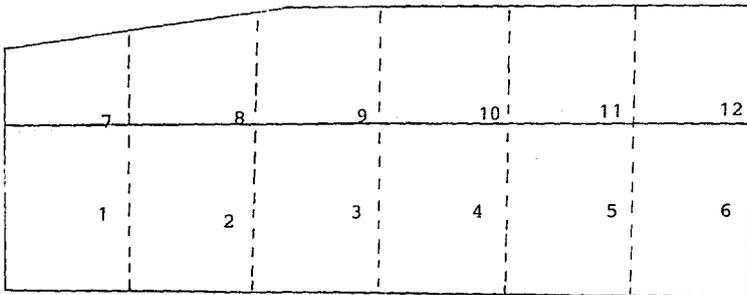


FIGURA M  
 $N^*$  y  $L^*$  PARA  $m = 6$

En la figura anterior se observa que todos los rectángulos formados tienen largo óptimo, esto es el resultado dado en 4.19. Las subzonas de la parte superior de la zona tienen un ancho más pequeño al óptimo debido al ancho total de la zona y a la partición óptima. En seguida se analiza, de forma similar para  $m = 2$ , para encontrar las distancias que se recorren con este tipo de partición de la zona. Tómese primero la subzona (1), el recorrido que tiene que realizar el vehículo (1), es el siguiente:

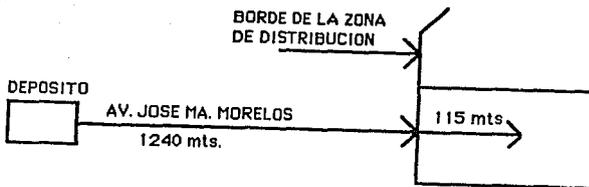


FIGURA N

TRAYECTORIA DEL VEHICULO (1) PARA ENCONTRAR EL VALOR DE  $\rho$

Este vehículo sale del depósito por la vía principal hasta llegar al centro de su zona, por lo que es simple calcular el valor de  $\rho$ .

$$\rho = 1240 + 115 = 1355 \text{ mts.} \quad (4.20)$$

y la distancia del depósito al borde de la zona y de regreso es:

$$(2\rho - L) = 2(1355) - 230.94 = 2479 \text{ mts.} \quad (4.21)$$

Veamos ahora las distancias promedio longitudinal y transversal promedio:

$$\begin{aligned} \text{DISTANCIA PROMEDIO LONGITUDINAL} &= 4mL = 2(6)(290.94) \\ &= 5542.56\text{Mts.} \end{aligned} \quad (4.22)$$

$$\begin{aligned} \text{DISTANCIA PROMEDIO TRANSVERSAL} &= SW/3 = 48(946.41)/3 \\ &= 5542.56 \text{ mts.} \end{aligned} \quad (4.23)$$

Obsérvese ahora que estas distancias, comparadas con  $m=2$  aumentaron de manera significativa, y, por otro lado, entre ellas son iguales (lo mismo sucedió en  $m=2$ ).

La distancia total recorrida será entonces:

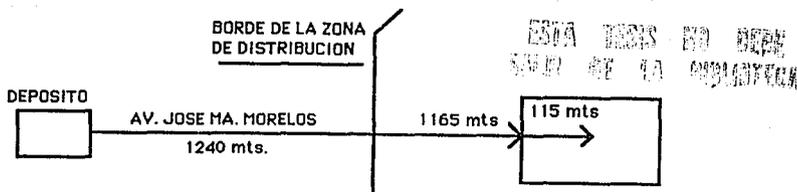
$$\begin{aligned} D^* &= (2\rho - L) + 4mL + SW/3 = 2479 + 2(5542.56) \\ &= 13,564.12 \text{ mts.} \end{aligned} \quad (4.24)$$

Esta cantidad representa la distancia total recorrida por el vehículo. Recuérdese que la zona se recorre 6 veces, por lo que, aunque los rectángulos no son muy largos por el número de veces que se recorren la distancia total recorrida es más grande. La distancia promedio recorrida por punto es:

$$\begin{aligned} d^* &= 2\rho/S + [2(2m-1)/36]^{1/2} \\ &= 2(1355)/48 + 7/[12(6)(.0006)]^{1/2} + (24/3(.0006))^{1/2} \quad (4.25) \\ &= 56.46 + 110.65 + 115.47 \\ &= 282.58 \text{ por punto.} \end{aligned}$$

Este valor indica que entre un cliente y el siguiente en el que el vehículo tendrá que detenerse existe una distancia de aproximadamente 282 mtrs.

Pasemos ahora a la zona más lejana del depósito, tomando la subzona numerada con el (6). En seguida se muestra el recorrido del vehículo (6) para llegar a su rectángulo.



**FIGURA 0**  
**RECORRIDO DEL VEHICULO 6 PARA ENCONTRAR EL VALOR DE  $\rho$**

El vehículo (6) sale del depósito por la vía José Ma. Morelos y Pavón hasta llegar al centro de su zona, recorriendo las distancias marcadas en la figura anterior; es decir

$$\rho = 1240 + 1165 + 115 = 2520 \text{ mts.} \quad (4.26)$$

La distancia fija que recorre el vehículo desde el depósito al borde de su zona y de regreso será entonces

$$(2\rho - L) = 2(2520) - 230.94 = 4809.06 \text{ mts} \quad (4.27)$$

De la misma manera que en la sección las distancias longitudinal y transversal promedio totales ya fueron calculadas para el vehículo (1), entonces:

$$D^* = (2\rho - L) + 2mL + S_{w/6} = 4809.06 + 2(5542.56) = 15,894.18 \text{ mts.} \quad (4.28)$$

y utilizando la ecuación 3.58

$$d^* = 2(2520)/48 + 110.65 + 115.47 = 331.12 \text{ mtrs por punto} \quad (4.29)$$

Después de haber calculado todas estas distancias, se tiene que el vehículo (1) recorre una distancia total promedio de 13564.12 mts y el vehículo (6) una distancia de 15,894.18 mts. Esto indica que se están manejando estos rangos para la subzonas numeradas del (1) a (5), y la diferencia entre estos

dos límites no es grande. Ahora hace falta analizar la subzona más alejada del depósito denotada con el número (12) en la figura con M. Al hacer el corte, las dimensiones de ésta quedaron como :

$$w = 243.6 \text{ mts}$$

$$L^* = 230.94$$

El recorrido del vehículo que distribuye a la zona 12 se muestra en la siguiente figura

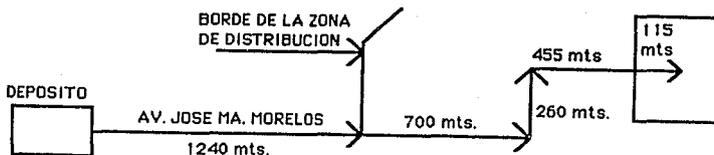


FIGURA P

RECORRIDO DEL VEHICULO 12 PARA ENCONTRAR EL VALOR DE  $\rho$

Por lo que el valor que le corresponde de  $\rho$  es

$$\rho = 1240 + 700 + 260 + 455 + 115 = 2770 \text{ mts} \quad (4.30)$$

El vehículo sale del depósito por José Ma. Morelos y Pavón, en Rayón sube 260 mts y de Rayón al borde de su zona recorre 255 metros para luego entrar al rectángulo y llegar al centro.

$$\begin{aligned} \text{DISTANCIA LONGITUDINAL PROMEDIO} &= 4mL = 4(6)(230.94) \\ &= 5542.56 \end{aligned} \quad (4.31)$$

$$\begin{aligned} \text{DISTANCIA TRANSVERSAL PROMEDIO} &= 8w/3 = 48(243.6)/3 \\ &= 3897.6 \text{ MTS.} \end{aligned} \quad (4.32)$$

y la distancia total recorrida es:

$$\begin{aligned} D^* &= (2p - L) + 2mL + SW/E = \\ &= (2(2770) - 230.94) + 5542.56 + 3897.6 = 14,749.22 \text{ mts} \end{aligned} \quad (4.33)$$

Nótese que la distancia longitudinal no tiene porqué cambiar ya que el largo de la zona es el mismo, esto es, el óptimo. Y la distancia por punto es calculada de la misma manera que como se ha venido haciendo, utilizando la ecuación 3.58, se tendrá:

$$d^* = 115.41 + 110.65 + 115.47 = 341.53 \quad (4.34)$$

En este último caso, la distancia total encontrada es menor que a la que se llegó para la subzona (6), ésto se debe a la variación en la distancia transversal total, así como por el cambio en el ancho de la zona.

Hasta el momento ya se tiene un análisis amplio de subzonas, suficiente para resumir los resultados, los cuales son presentados en la siguiente sección.

### 4.3 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis de la sección anterior.

Empezando con  $m=2$ , la zona de distribución se debe dividir en 9 subzonas cada una de un ancho de 200 mts y un largo de 400 mts aproximadamente, y 3 subzonas de medidas diferentes. Estas 12 subzonas están indicando que son necesarios 12 automóviles para cubrir la zona. Cada uno de estos vehículos recorre su subzona 4 veces:

- 1) de 8 hrs a 11 hrs
- 2) de 11 hrs a 14 hrs
- 3) de 14 hrs a 17 hrs
- 4) de 17 hrs a 20 hrs.

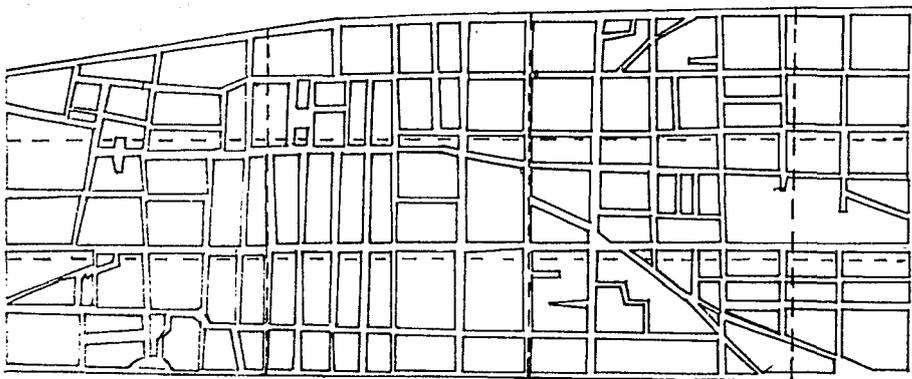
Los primeros dos corresponden al primer período de dos horas de de 8 a 14, llamado a.m. y 3) y 4) corresponden al período de p.m. y en cada uno de estos pares se reparte a 24 clientes aprox. según la tabla 1 en la sección anterior.

La distancia mínima recorrida se encuentra dentro de un intervalo, ya que depende de la posición de la subzona con respecto al depósito, pero la variación del límite inferior con el límite superior es pequeña. Para  $m=2$  se están recorriendo distancias totales ( $D^*$ ) dentro del intervalo dado por los resultados (4.7), (4.11), es decir, entre

$$[9030 \text{ mts} , 10,970 \text{ mts}]$$

Nótese que el rango de variación es angosto y que la diferencia sólo está marcada por la posición de la zona con respecto al depósito. La ilustración de la zona con calles y particiones se muestra en la figura  $\alpha$ , obsérvese que no necesariamente los rectángulos tienen que coincidir con calles, es decir, líneas punteadas con calles, sino que al tener en cuenta la partición se delimita la zona de entrega de

cada vehículo. Es decir que aunque la entrega de cada vehículo podría terminar a la mitad de una cuadra y el resto pertenece al otro auto.



**FIGURA Q**  
**SUBZONAS CON  $M=2$**

Con  $m=5$  la zona queda dividida en 12 subzonas, es decir, son necesarios 12 vehículos, cada una de estas subzonas tiene un ancho de 346.1 mts y un largo de 230.94 mts. En el momento de presentar estas medidas se puede pensar que ahora el largo del rectángulo deberá ser 3446.1 mts y el ancho 230.94 mts, pero por la localización del depósito, y el análisis de la zona, las medidas óptimas que se encontraron fueron las primeras.

Si se realizan 12 viajes de  $12/2(6) = 1$  hora cada uno, para cada vehículo y  $S/m = 48/6 = 8$  paradas en cada período, es decir cada dos horas, por consiguiente cada hora que se recorre la zona se para aproximadamente en 4 ocasiones. La distancia  $d^*$  dada por los resultados (4.25) y (4.34) se refiere a la distancia promedio entre clientes consecutivos a distribuir, y no en cuanto a que físicamente se encuentren separados todos los clientes, es decir la distancia entre al cliente actual y el siguiente cliente en el que el vehículo realice una parada. El intervalo para estos vehículos, en cuanto a la distancia total recorrida, dadas por las expresiones (4.24) y (4.33) se expresa como:

$$[13,564.12 ; 14,749.22]$$

En este caso también se nota que este intervalo es angosto. Por último la partición de la zona de distribución con las cuadradas que la conforman se presenta en la figura 8.

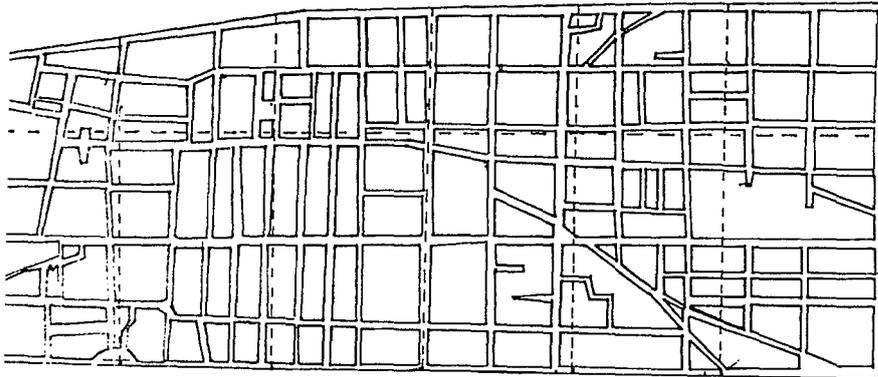


FIGURA R  
PARTICION OPTIMA PARA M=6

El tener agrupados a los clientes permite visualizar de una mejor manera la zona de distribución y ayuda a tomar una decisión sobre la forma de realizar la distribución. Como resultado general obsérvese que comparando las distancias que se recorren con una  $m=2$  ó con una  $m=6$ , no varían significativamente, lo cual refleja buenos resultados. Para esta zona en particular obsérvese que para  $m=6$  y con las medidas de toda la zona, se logró realizar una partición completa de la zona, sin tener área sobrante como en el caso de  $m=2$ .

Después de presentar esta aplicación y para concretar cómo es el uso de la estrategia de "doble recorrido", se resume en 7 pasos el análisis de un problema:

- 1.- Definir el producto a distribuir.
- 2.- Analizar la zona en la que se desea realizar la distribución.
- 3.- Definir el número aproximado de clientes potenciales.
- 4.- Verificar si es conveniente la implantación de la estrategia de acuerdo a los clientes y a la zona.
- 5.- Definir la capacidad, velocidad, y tiempo de parada de cada vehículo.
- 6.- Dividir el tiempo de duración del servicio en periodos de tiempo
- 7.- Encontrar las medidas óptimas de las subzonas.
- 8.- Calcular las distancias  $D_k$  y  $d_k$  para cada periodo de tiempo.

## CONCLUSIONES

Todo lo presentado en este trabajo de tesis representa una herramienta adecuada para la toma de decisiones, que ayuda al administrador a decidir por mejores alternativas. Es importante destacar que el algoritmo presentado conduce a "buenas" soluciones, no necesariamente óptimas. Dependerá de cada problema, de los factores que estén involucrados que lleven a modificar la solución dependiendo de características particulares. Y este tipo de soluciones son las que se desean adoptar a nivel empresarial ya que las óptimas pueden representar una inversión que la empresa no puede realizar.

Dentro de la clasificación de problemas, el que ha sido analizado es uno de los más sencillos; complicaciones en la zona de distribución requiere un análisis más complejo pero realizable.

La técnica propuesta es sencilla de aplicar, no emplea conceptos complicados es decir, es "amigable" sobre todo al ser aplicada por personas de diferentes disciplinas.

Por las entrevistas realizadas, presentadas en el APENDICE I, las empresas que distribuyen mercancías, hasta el momento, no cuentan con estrategias para agrupar clientes, ni para recorrer las zonas. En la mayoría de los casos esto se resuelve por la experiencia que tienen funcionarios corporativos de tráfico ó por la que tienen los choferes de las unidades vehiculares, ya que no cabe la menor duda de son ellos quienes mejor conocen las zonas de distribución y los problemas que se les presentan para realizar la entrega de mercancías. Debido a esto es interesante y de gran utilidad crear soportes de ayuda, es decir, paquetes computacionales basados en las técnicas presentadas aquí.

El tema presentado abre camino para nuevas investigaciones y crea retos para la creación de métodos más exactos demandados por las empresas.

Por todo lo anterior se llegó a la conclusión de que el sistema de distribución con el modelo  $m=6$ , es mucho más eficiente que  $m=2$ , ya que en el primero se está tomando en cuenta todos los pedidos que van surgiendo durante el día y de esa forma, como las camionetas regresan al depósito cada dos horas se podrán surtir todos esos pedidos que se van presentando durante el día. En cambio con  $m=2$  será imposible surtir a clientes que hagan sus pedidos durante el período en que las camionetas estén repartiendo, por que si el cliente desea que su orden se le entregue durante ese período, mañana ó tarde, no habrá camionetas disponibles para surtir ese pedido sino hasta el siguiente período de 6 horas ó hasta el día siguiente.

Como se observó en la figura 1 del capítulo IV, existe un área que no está incluida dentro de las particiones con medidas óptimas, y como se mencionó, al eliminar esta área de la zona distribución se están eliminando clientes, y éste no es uno de los objetivos de la empresa, por lo que se propone contar con dos vehículos más, en cada caso, para repartirle a este sobrante, ya que cuando no se tengan clientes en estas áreas esos vehículos no saldrán del depósito. Y entonces serían necesarios 9 vehículos para el caso de  $m=2$ .

La estrategia de doble recorrido presenta una respuesta al problema sobre el servicio que se desea dar al cliente. Nos interesa que la mayoría de los clientes tengan sus pedidos dentro de su ventana de tiempo, la empresa que se maneja es una empresa de servicio y por esta razón su principal objetivo es SERVIR adecuadamente a cada uno de los clientes, por lo que esta estrategia tiene, en gran medida, la solución. Esto puede llegar a tener grandes alcances, sobre todo si se piensa en el desarrollo de sistemas interactivos para la planeación estratégica de rutas para distribución de mercancías, que permita al usuario conocer las diferentes alternativas que puede tener dependiendo de la zona de distribución en la que él desea trabajar.

Cuando se tienen problemas complejos y no se cuenta con herramientas computacionales para planear el ruteo, como es el caso muy particular de las empresas con las que se tuvo contacto, (APENDICE I), la estrategia de doble ruteo proporciona una aproximación a la distancia mínima recorrida dentro de una subzona satisfaciendo las ventanas de tiempo de los clientes.

Este tipo de estrategias deben aplicarse cuando el número de clientes es grande, cuando los clientes no se conocen con certidumbre y se distribuyen de manera uniforme en la zona, cuando un cliente abarca una cuadra completa. Considerando una de las empresas entrevistadas, cuenta con 115 mil puntos en el área metropolitana, este es un ejemplo en el que la aplicación de esta estrategia es válida. Tomando en cuenta las limitaciones anteriores se pueden resumir las ventajas como sigue:

#### VENTAJAS:

- 1.- Los resultados se generan de un modo sencillo.
- 2.- La estrategia de Doble Recorrido busca satisfacer a todos los clientes y a la vez minimizar la distancia recorrida.
- 3.- La formulación no es matemáticamente complicada.
- 4.- La carga en el depósito se hace una sola vez al día, existe un ahorro de tiempo, combustible, costos.
- 5.- La estrategia puede ser utilizada por aquellas empresas que tienen un sistema de distribución complejo.
- 6.- La oportunidad de desarrollo de apoyo computacional es una investigación interesante para que sea utilizado por las empresas que desean automatizar sus resultados.

Se considera que esta proposición es de interés para las empresas con un ruteo complicado con problemas grandes de distribución que no han sido resueltos satisfactoriamente por otros métodos. Puede ser utilizada con éxito a nivel empresarial, como parte de su sistema logístico; realizando desarrollos similares más complejos considerando variantes adicionales del problema.

Por último cabe mencionar que lo que se presenta en este trabajo de tesis y las investigaciones realizadas sobre el tema presentan una oportunidad para evitar el estancamiento de la Investigación de Operaciones en métodos cuantitativos para la solución de problemas y desarrollar métodos sencillos, sin mayor complicación numérica que permitan a las empresas solucionar sus problemas y lograr acercarse al éxito por medio de estas herramientas de solución.

## REFERENCIAS CAPITULO I

- [1] ACKOFF R.L., SASIENI M.W., (1973); "Fundamentos de Investigación de Operaciones", editorial Limusa.
- [2] THIERAUF R.J, GROSSE R.A., (1975) "Toma de decisiones por medio de la Investigación de Operaciones"; editorial Limusa.
- [3] PRAWDA J., (1989) ; "Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones", editorial Limusa.
- [4] HALL W. H., (1985) ; "Research Oportunities in Logistics"; Transportation Research, Vol 19A, No. 5/6, pp. 399-409.
- [5] DANSKIN S.M., (1985); "Logistics: An overview of the State of de art and Perspectives on Future Research", Transportation Research, Vol 19A, No. 5/6, pp 383-398.
- [6] ROBUSTE F. DAGANZO C.F., SOULYERETTE R; (1990); "Implementing Vehicle Routing Models", Transportation Research, vol 24B, pp. 263-286
- [7] ANTUN J.P. LOZANO A, ALANIS A. (1991) "Logística de Distribución de Mercancías en Areas Urbanas"; XX seminario de Ingeniería de Tránsito y Transporte, pp 1-21.
- [8] CLAUDILL M, (1991) "Expert Networks"; Byte Magazine, pp. 108-116.
- [9] DANTIZG G., RAMSER J.H.; (1959); " The Truck Dispatching Problem"; Management Science, Vol 6.
- [10] GOULD J.; (1969); " The Size and Composition of a Road Transport Fleet", Operational Research Quarterly, vol. 20, pp. 81-92.

## REFERENCIAS CAPITULO II

[1] ANTUN J.P., (1989); "Una Revisión al Concepto de Logística en la Empresa", Contaduría y Administración, enero- febrero No. 140, pp 39-83.

[2] HESKETT J.L.; (1978); "Logística: Esencial para la formulación de la Estrategia Empresarial",; Harvard Business Review, pp 3-15.

[3] STOLLE F.J.; "Como Administrar la Distribución Física "; Harvard Business Review, No. 52, pp 3-9.

[4] SHARMAN G.; "El Redescubrimiento de la Logística"; Harvard Business Review, pp 169-179.

[5] SHAPIRO R; (1985) "La Logística Puede Potenciar la Empresa", Harvard Business Review; pp 31-42/

[6] HUTCHISON Jr. W.N., STOLLE J.F., "Como Administrar Los servicios a los Clientes"; Harvard Business Review, Fascículo 97, serie 5, pp 59 - 70

[7] GEOFFRION M ARTHUR, "Mejore los Proyectos de Distribución Utilizando Modelos de Computadora", Harvard Business Review, pp. 101-108.

[8] PIRASTEH ROSS, "Evite los Errores de Suministro de Distribución"; Harvard Business Review, Fascículo 109, serie 6, pp. 81-95

#### REFERENCIAS CAPITULO III Y CAPITULO IV.

[1] DAGANZO C.F. (1984); "The lenght of Tours in zones of Different Shapes", Transportation Research, vol 188, pp. 135 - 145.

[2] DAGANZO C.F., (1987) , "Modeling Distribution Problems with Time Windows: Part I "; Transportation Science, vol 21, No 3, pp. 171 - 179.

[3] LANGEVIN A., SAINT-MLEUX Y., (1991); "A Decision Support System for Physical Distribution Planning", Centre de Recherche sur les Transports, Publication No. 764.

[4] DAGANZO C.F., (1987): "Modeling Distribution Problems With Time Windows Part II: Two Customer Tpes"; Transportation Science, vol. 21, No 3, pp 180-187.

[5] INEGI (1991), "Cuaderno de Información Básica para la Planeación Municipal".

[6] INEGI (1989) ; "Resultados Oportunos el Estado de México".

## APENDICE I

## ENTREVISTAS

### CASA MARZAM:

Casa Marzam es un empresa cuya actividad principal es distribuir medicamentos a farmacias del Distrito Federal y área Metropolitana así como al interior de la República. Esta empresa tiene ciertas políticas de distribución y en base a éstas realiza su trabajo. Estas políticas son las siguientes:

- 1.- Vender el servicio que ofrece y
- 2.- Llegar con el pedido lo más pronto posible.

Cada uno de sus vehículos cubre una subzona de distribución y todos salen de un mismo depósito.

### FORMA DE DISTRIBUCION

Los vendedores realizan el pedido desde cada farmacia por medio de una computadora TP20, ó bien, los clientes lo hacen vía telefónica.

Antes de las 6 a.m. los vehículos son surtidos con los pedidos por medio de bandas y a las 6 a.m. salen a realizar la distribución; ésta se realiza en camionetas que constituyen la flota propia de la empresa y son alimentadas con gas.

La rutas para cada camioneta fueron diseñadas por el gerente de distribución con la ayuda de mapas y recorriendo el 90% de ellas. Hasta el momento no utilizan ningún tipo de ayuda de paquetería computacional para el diseño de las rutas ni tampoco de modelos matemáticos. Cada vehículo sale del depósito hacia su subzona, realiza el recorrido de farmacias en base a la ruta que se le asignó y también a la decisión del operador de la camioneta; una vez terminada su distribución regresa al depósito por una vía que puede ser diferente a la de llegada.

En cuanto a las restricciones que se presentan son : no pueden circular en el centro de la ciudad a ciertas horas por el tipo de vehículo que manejan. Si el pedido no es entregado a tiempo es cancelado y es por esta restricción el interés de vender su servicio. Y por último hay rutas peligrosas, es decir, de alto riesgo.

#### **SABRITAS:**

SABRITAS es una empresa productora y distribuidora de productos alimenticios y se pueden definir varias políticas de distribución en base a las que trabaja esta empresa. Estas quedan definidas como sigue:

- 1.- Maximizar la calidad del servicio y el número de clientes.
- 2.- Visitar cada tercer día los establecimientos.
- 3.- Contar con varios depósitos ó sucursales, cada uno de ellos cubre la distribución de una parte del área metropolitana.
- 4.- Tener un código de caducidad en los productos, deben ser recogidos (cambiados) antes de esa fecha. Por ésto la empresa realiza distribución y recolección de sus productos.
- 5.- Ganar la confianza de sus clientes por medio de los vendedores, ellos son los principales encargados para conseguir nuevos clientes.
- 6.- No pagar un sueldo fijo a los vendedores sólo comisiones por lo que cargan en su vehículo.

#### **FORMA DE DISTRIBUCION**

Cada vehículo cubre una subzona de distribución integrada por varias rutas, la ruta varía según el día. Los vendedores llevan un registro de las ventas a cada uno de sus clientes, que les sirve para estimar la demanda de los mismos. Los vehículos son cargados por la mañana con el pedido que previamente realiza el operador de acuerdo a la demanda esperada. El cliente realiza un nuevo pedido en el momento en que el operador llega al establecimiento. El pago, en efectivo, y la facturación se realizan en el momento en que la mercancía es entregada. Los vendedores no pueden regresar antes de las 4:00 p.m. con el propósito de que busquen más clientes.

La revisión de las ventas es semanal; la flota vehicular con la que cuenta esta empresa es propia y está formada principalmente por vanettes, combis y motos.

Con respecto a las rutas, el vendedor reparte según su criterio. Cuando la ruta está muy saturada de clientes, se realiza una reestructuración de rutas, para que todas sean homogéneas. Aún así existen rutas, dentro de una superficie grande con pocos clientes, y viceversa, rutas dentro de una superficie pequeña con muchos clientes, ésto se debe a que el vendedor se gana los clientes de su ruta. El tiempo que el vehículo está detenido con cada clientes es de 10 min. aproximadamente. Para todo lo anterior no se utiliza paquetería ni modelos matemáticos.

Las restricciones que limitan la distribución de esta mercancía son :

1.- el programa "hoy no circula" implantado en la ciudad de México y los puntos de difícil acceso para los cuales utilizan motos.

#### **ESTAFETA:**

ESTAFETA es una empresa que se dedica a distribuir y recolectar mensajería y paquetería , sus principales políticas para ser una empresa exitosa son las siguientes:

- 1.- Vender el servicio de distribución.
- 2.- Entregar los paquetes antes de las 11.30 a.m. del día siguiente a su envío.
- 3.- Realizar el proceso de distribución en la mañanas y el proceso de recolección por las tardes.
- 4.- Concentrar todos los envíos en un depósito en el área metropolitana .

#### **FORMA DE DISTRIBUCION.**

El área metropolitana de la cd. de México está dividida en cuatro sectores con un cierto número de rutas, donde un sólo vehículo cubre una sola ruta. Los vehículos llegan al depósito (centro operativo) cargados con los paquetes procedentes de las bases flotantes (oficinas), aproximadamente a las 6:00 p.m. todos los días.

El pago y la facturación del servicio puede ser hecho en las oficinas en las que se solicitó el servicio (bases flotantes), ó en el lugar de la entrega. La flota vehicular es propia y consiste de volswagen sedán y combis principalmente.

En cuanto a las rutas para la distribución son diseñadas en base a códigos postales y colonias, cada uno de los supervisores de sector diseña las rutas de sus sector. Tiene rutas ya definidas, es decir, que no cambian diariamente, ya que los puntos de distribución y/o recolección no varían considerablemente con el tiempo.

Por otro lado, dependiendo del volúmen de los paquetes se emplean caminantes, ciclistas, motos, sedanes ó combis. Así también el número de operadores que vayan en un solo vehículo dependerá de la ruta. Van de uno a tres operadores por vehículo. La única restricción que se les presenta en la ciudad de México es el programa " un día sin auto".

#### **BIMBO:**

BIMBO es una empresa productora y distribuidora de productos alimenticios (pan, botanas, dulces). Sus principales políticas para realizar exitosamente su trabajo son las siguientes:

- 1.- La empresa cuenta con 10 agencias de distribución, aproximadamente, para cada marca de productos (BIMBO, MARINELA, BARCEL, ETC..)
- 2.- No tienen clientes con prioridades, esto indica que no importa el tamaño del pedido del cliente para darle preferencia.
- 3.- Los productos caducados ó maltratados son recolectados y se venden como pan frío ó barredura para animales.
- 4.- Los clientes son atendidos con unidades suplentes ó emergentes, ésto sucede cuando el vehículo que distribuye sufre algún percance y ya no puede continuar su ruta..

Bajo estas reglas la empresa BIMBO distribuye a toda la República. Existen 60 agencias en la zona metropolitana de la Cd. de México, con un número de vehículos que varía entre 35 y 110 para cada una. Se atienden aproximadamente 115 mil puntos en el área metropolitana de la Cd. de México.

#### FORMA DE DISTRIBUCION

Se cuenta con 2500 vehículos (Vanette y Nissan) de distribución para D.F. y área metropolitana y éstos son de 3.5 y 1.0 toneladas. Las agencias son surtidas diariamente antes de las 6:00 a.m. por medio de trailers desde las fábricas, las agencias no manejan inventario por el tipo de productos que se maneja. Después, los vehículos son cargados con la mercancía aproximadamente en 20 minutos, a más de la mitad de su capacidad y los productos son colocados en jaulas con carriles para las charolas. El mix (mezcla de productos) de productos se arma en el centro de consumo. Se comienzan a distribuir a las 6.30 a.m. y la distribución tiene una duración de 8 horas. La revisión de las ventas se realiza diariamente. Los vendedores son los que efectúan la facturación y cobranza. En cada una de las agencias se lleva una estadística del volumen de producto diario que sale de ellas con la cual estiman la demanda. El tiempo de comida de los vendedores está incluido en su horario de distribución y puede ser variable.

En cuanto a las rutas, existen rutas fijas y la distribución se realiza en una forma radial. Cada vehículo distribuye a 45 puntos todos los días y dependiendo del producto es definida la frecuencia de sus distribución..

La distancia recorrida por cada vehículo diariamente es de 200 kms. en promedio, se tarda menos de 30 minutos en ir desde la agencia a su zona de distribución. Cada vendedor tarda aproximadamente 10 minutos en cada establecimiento y la velocidad a la que manejan los vehículos debe ser de 40 kms/hr ,en la ciudad. y 80 kms/hr. en carretera.

Las rutas permanecen si son costeables, en caso contrario se clausuran , por lo que la rectificación de rutas se realiza para mejorar el servicio en dos casos: cuando una ruta tiene muchos clientes ó cuando no es costeable. La forma de reparto se realiza dentro de un itinerario que los conductores determinan. Esta empresa no utiliza paquetes computacionales para el diseño y control de sus rutas ni modelos matemáticos.

Por último las restricciones que se le presentan a esta empresa es el programa "hoy no circula" ya que no todas sus camionetas cuentan con gas. Algunos de sus vehículos tienen restringido el acceso al centro de la Ciudad a ciertas horas del día.

## APENDICE II

## INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA

- (1) NEWELL G.F., DAGANZO C.F., (1986); "Design of Multiple Vehicle Delivery Tours: part I. A Ring Radial Network", Transportation Research, vol 20B(5), pp.345-363.
- (2) NEWELL G.F., DAGANZO C.F., (1986); "Design of Multiple Vehicle Delivery Tours: part II. Other Metrics", Transportation Research, vol 20B(5), pp.365-376.
- (3) NEWELL G.F., (1986); "Design of Multiple Vehicle Delivery Tours: part III. Valuable Goods", Transportation Research, vol 20B(5), pp.365-376.
- (4) HALL R.W., (1985); "Determining Vehicle Dispatch Frequency When Shipping Frequency Differs Among Suppliers", Transportation Research, vol 19B(5), pp 421-431.
- (5) SABRIA F., DAGANZO C.F., (1989); "Approximate Expressions for Queueing Systems with Scheduled Arrivals and Established Service Order", Transportation Science, vol 23(3), pp. 159-165.
- (6) DAGANZO C.F., (1987); "Increasing Model Precision Can Reduce Accuracy", Transportation Science, vol 21(2), pp. 100-105.
- (7) LONG L., (1989), "Book Reviews", Transportation Research, vol 23A(4), pp 335-348.
- (8) DAGANZO C. (1988); "A Comparison of In-Vehicle and Out-of-Vehicle Freight Consolidation Strategies", Transportation Research, Vol 22B(3), pp 173-180.
- (9) LAPORTE G, NOBERT Y, TAILLEFER S, (1988), "Solving a Family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location Routing Problems", Transportation Science, Vol 22(3), pp 161-172.
- (10) HALL R, (1989); "Graphical Interpretation of Transportation Problem", Transportation Science, Vol 23(1), pp 37-45.
- (11) MIN H; (1989); "The Multiple Vehicle Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up Points", Transportation Research vol 23A(5), pp 377-386.
- (12) Daganzo C:F:, (1987), "Modeling Distribution Problems with Time Windows Part II: Two Customers Types", Transportation Science, Vol 21(3), pp 180-187.
- (13) LANGEVIN A., SOUMIS F, (1989); "Design of Multiple-Vehicle Delivery Tours Satisfying Time Constrains", Transportation Science, Vol 23B(2), pp. 123-138.

- (14) LANGEVIN A, SAINT-MLEUX Y; (1991), "A Decision Support System for Physical Distribution Planning", Centre de Recherche Sur les Transports, Publication No.764, pp 1-16.
- (15) HALL R, (1989); "Dispatching Regular and Express Shipments Between a Supplier and Manufacturer", Transportation Research, vol 23B(3), pp. 195-211.
- (16) PAS E.,(1985); "State Of the Art and Research Opportunities in Travel Demand: Another Perspective", Transportation Research, Vol 19A(5/6), pp. 460-464.
- (17) HOROWITZ J, (1985); "Travel and Location Behavior: State of the Art and Research Opportunities"; Transportation Research, Vol 19A(5/6), pp. 441-453.
- (18) BAKER E; (1992); "Vehicle Routing Problem with Time Window Constraints", The Logistics and Transportation Review, vol 18. pp 386-401.
- (19) RAFT D; (1982); "A Modular Algorithm for an Extended Vehicle Scheduling Problem", European Journal of Operational Research 11, , pp. 66-76.
- (20) DAGANZO C; (1985); "Supplying a Single Location From Heterogeneous Sources", Transportation Research, Vol 19B(5), pp. 419-409.
- (21) DAGANZO C; (1988); "Shipment Composition Enhancement at a Consolidation Center", Transportation Research, Vol 22B(2), pp 103-124.
- (22) RONEN D; (1983); "Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems", European Journal of Operational Research, pp. 119-126.
- (23) HINES G, WOLFF R; (1982); "Alternative Approaches to Demand Responsive Scheduling Algorithms", pp. 43-54
- (24) DAGANZO C; (1984); "The Distance Traveled to Visit N Points With a Maximum of C Stops per Vehicle: An Analytic Model and an Application", Transportation Science, Vol 18(4) pp 331-350.
- (25) DAGANZO C, HALL R; (1990) "A Routing Model for Pickups and Deliveries: No Capacity Restrictions on the Secondary Items", Institute of Transportation Studies, pp. 1-30.
- (26) TURNQUIST M; (1985); "Research Opportunities in Transportation Systems Characteristics and Operations", School of Civil and Environmental Engineering, pp. 357-366.
- (27) SOLOMON M, DESROSIERS J; (1988); "Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems", Transportation Science, Vol 22(1), pp 1-13.
- (28) POLAK J; ( ) "Computer-Based Vehicle Routing and Scheduling: Past, Present and Future", Logistics and Distribution Planning, pp. 81-99.