



*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA*

TEMA DE TESIS:

*PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA
DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL
DISTRITO FEDERAL*

*Tesis que para obtener el título de Ingeniero
Industrial*

Presenta

Luis Enrique López Martínez

Director de tesis Angélica del Rocío Lozano Cuevas

México DF, noviembre 2008





*PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES
ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL*

AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a mis padres que me apoyaron
incondicionalmente para poder concluir con mis
estudios.*

*Gracias a Diana por sus consejos a lo largo mi
formación profesional*

*A la UNAM, que es el orgullo de mi origen como
profesional y a la Facultad de Ingeniería.*

*Gracias a mi Directora de Tesis por ayudarme a
realizar este tema.*

Luis Enrique



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
CAPÍTULO 1: PANORAMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE ÚTILES ESCOLARES.....	3
1.1. ANTECEDENTES.....	4
1.2. DECRETO DE LEY.....	6
1.3. LISTA OFICIAL DE ÚTILES ESCOLARES.....	10
1.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE ALUMNOS EN EL DISTRITO FEDERAL	17
CAPÍTULO 2: PROBLEMAS DE RUTAS DE VEHÍCULOS.....	23
2.1. AGENTE VIAJERO.....	24
2.2. PROBLEMA DE RUTAS DE VEHÍCULOS (VRP).....	30
2.2.1. VRP CON RESTRICCIONES DE CAPACIDAD.....	34
2.2.2. CVRP CON RESTRICCIONES DE VENTANAS DE TIEMPO.....	36
2.2.3. VRP CON ENTREGAS Y DEVOLUCIONES.....	38
2.2.4. SUBTIPOS DE VRP MÁS COMUNES.....	41
2.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	42
2.3.1. SIG PARA TRANSPORTE.....	46
CAPÍTULO 3: COMPONENTES DE LA MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES.....	51
3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	52
3.2. RED VIAL DE TRANSPORTE DE CARGA.....	53
3.3. PARTICIÓN REGIONAL.....	56
3.4. OFERTA Y DEMANDA.....	59
3.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS.....	62



*PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES
ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL*

CAPÍTULO 4: DETERMINACIÓN DE RUTAS DE VEHÍCULOS	67
4.1. ESCENARIO 1.....	68
4.2. ESCENARIO 2.....	76
4.3. ESCENARIO 3.....	78
4.4. EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS	79
4.5. MEJORAMIENTO DEL ESCENARIO SELECCIONADO.....	85
CONCLUSIONES.....	89
REFERENCIAS.....	91
APÉNDICES	
A: DÍPTICO DE ESTIBAMAX®.....	93
B: CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS.....	97



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

INTRODUCCIÓN

El alza recurrente de los combustibles y el alto costo de transporte propiciado por la inversión en la flota de transporte, seguros, mantenimiento, personal etc. ha generado mayor atención en la forma en cómo se distribuyen los bienes y servicios, de tal manera que se desea optimizar los recursos de transporte, el tiempo y la distancia, además de una buena asignación de rutas para la entrega o devolución de los bienes y servicios para mejorar el servicio a los clientes.

En este trabajo se presenta una propuesta de distribución para la entrega de los paquetes de útiles escolares gratuitos en el Distrito Federal, ante la dificultad que se ha tenido para operar el sistema de distribución y la frecuente falta de existencias de paquetes de útiles escolares causada en parte por no determinar adecuadamente la demanda de éstos en cada centro de distribución.

Con el fin de optimizar recursos, se utilizan métodos para la resolución de problemas de rutas de vehículos (VRP) y se aplica un Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta para el análisis espacial del transporte. Se aborda el problema de la determinación de una buena asignación de rutas, que garantice la distancia mínima de las mismas y por ende un tiempo mínimo, además de que genere el itinerario y la secuencia de entrega del vehículo de carga en cada ruta.

Se proponen, analizan y comparan tres escenarios para la distribución y entrega de los útiles escolares, con el objeto de determinar aquél con el menor recorrido de entrega y que minimice los costos de operación. Se toman en cuenta los costos de operación, y de la distribución y el manejo de los paquetes de útiles escolares por medio de montacargas. Se selecciona un escenario que es mejorado con el fin de reducir el tiempo de llenado de los vehículos y el costo de transporte asociado a la entrega de los bienes.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

CAPÍTULO 1: PANORAMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE ÚTILES ESCOLARES

Introducción

En este capítulo se presentan en forma general los antecedentes del Programa “Útiles escolares gratuitos para los alumnos de educación básica del Distrito Federal”, describiendo la forma como se ha manejado desde su creación desde el punto de vista logístico, y la lista de útiles por grado y nivel. También se presenta la distribución espacial de los alumnos de escuelas públicas de los niveles preescolar, primaria y secundaria del DF.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

1.1. ANTECEDENTES¹

En el 2004, primer año del programa “Útiles escolares gratuitos para los alumnos de educación básica del Distrito Federal”, para cumplir con el decreto establecido ese mismo año, la Secretaría de Desarrollo Social del Distrito Federal (SDS-DF) que es actualmente encargada de este proceso, realizó una convocatoria de licitación para que cualquier persona física o moral que cumpliera con los requisitos de entrega y formación de los paquetes escolares pudiera participar en tal proceso. En ese ciclo escolar, la empresa ganadora fue una tienda de autoservicio que teniendo ya una infraestructura para el almacenamiento de los paquetes escolares dispuso de 20 tiendas para tal fin, y en apoyo a este proceso la Secretaría de Educación Pública dotó de vales canjeables a cada alumno del Distrito Federal. Sin embargo, debido a la falta de información de los padres de familia sobre cómo se canjeaban los vales y la toma de ventaja por parte de la tienda de autoservicio que pedía un mínimo de compra para poder hacerlos válidos, se optó por cambiar de proceso.

Para el año 2005 se restringió a que el ganador de la licitación tuviera la obligación de entregar los útiles escolares a 40 centros comunitarios dentro del Distrito Federal, y que los encargados de entregar los paquetes en cada escuela fueran servidores públicos. Pero la falta de información de la SDS-DF acerca de la prohibición de acceso a toda persona ajena a una institución educativa provocó que muchos de los servidores públicos no cumplieran con su cometido. De manera que la solución inmediata fue realizar las entregas dentro de los mismos centros comunitarios.

En el año 2006 se abrieron 50 centros de distribución (CD's) en almacenes del DIF y en delegaciones, de acuerdo a la currícula de alumnos. Así, en el lapso de un mes se entregó el 90% de los paquetes escolares.

Actualmente se cuenta con 56 centros de distribución, pero la localización de algunos no es adecuada para la descarga de los artículos, ya que o bien se encuentran en avenidas

¹ Arquitecto Fernando González, Secretaría de Educación del DF, entrevista Marzo 6, México DF 2008



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

principales donde no es posible estacionarse o en sitios donde las calles de acceso son muy estrechas, lo cual no permite utilizar camiones.

Los requisitos que se han solicitado en estos últimos años para que un alumno reciba un paquete de útiles escolares son los siguientes:²

1. El padre de familia deberá presentarse en el centro de distribución que le corresponda, con original y copia de alguna de la siguiente documentación:
 - Boleta de calificaciones del ciclo escolar anterior.
 - Comprobante de inscripción del ciclo escolar actual. Este documento será requisito para aquellos estudiantes que suspendieron la continuidad de sus estudios, que no cuentan con la boleta del ciclo escolar anterior y que se reincorporan en el ciclo escolar; así como para cualquier alumno de primer ingreso en los tres niveles educativos.
 - Constancia única expedida por la SEP, en el caso de los alumnos de preescolar.
2. En el centro de distribución se revisará el original del documento y se recogerá la copia, la cual quedará como constancia de que el padre de familia ha recogido el paquete.

En planes posteriores se tiene contemplado facultar a la Secretaría de Educación del Gobierno del Distrito Federal (SE-DF), institución recién creada, de las actividades que hasta el momento realiza la SDS-DF con respecto al programa de útiles escolares. Además se considera mantener los CD's o bien cambiar hacia la distribución directa a cada escuela del Distrito Federal. Esta última opción contempla la problemática que ocasiona el tener una administración distinta en cada turno del mismo plantel educativo, ya que la administración de cada turno sólo se hace responsable de su propio material y no se cuenta con bodegas o almacenes lo suficientemente grandes para guardar los paquetes de útiles escolares de los diferentes turnos. Esto implicaría tener que surtir al mismo plantel en el horario de cada turno, de modo que en vez de surtir a 50 CD's se tendrían más de 4,500 escuelas que surtir.

² <http://www.sep.gob.mx/wb2/sep/sep_Bol2750704> [consulta: 08/02/2008]



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

1.2. DECRETO DE LEY

El Artículo tercero fracción cuarta de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, afirma: “Toda educación que el Estado imparta será gratuita”³. Una iniciativa del Gobierno del Distrito Federal ha sido impulsar el programa “Útiles escolares por ciclo escolar a todos los alumnos residentes en el Distrito Federal”, que es Decreto de Ley a partir del año 2004, con el fin de erradicar la analfabetización y la deserción escolar de la educación básica a causa de la situación económica del alumno, y así ratificar lo promulgado en el Artículo antes citado. La publicación del decreto en la Gaceta Oficial del Distrito Federal se presenta a continuación⁴:

PUBLICADO EN LA GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL EL 27 DE ENERO DE 2004

DECRETO DE LEY QUE ESTABLECE EL DERECHO A UN PAQUETE DE ÚTILES ESCOLARES POR CICLO ESCOLAR A TODOS LOS ALUMNOS RESIDENTES EN EL DISTRITO FEDERAL, INSCRITOS EN ESCUELAS PÚBLICAS DEL DISTRITO FEDERAL, EN LOS NIVELES DE PREESCOLAR, PRIMARIA Y SECUNDARIA

(Al margen superior izquierdo, dos escudos que dicen: **GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.-México**, la Ciudad de la Esperanza.- **JEFE DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL**)

ANDRÉS MANUEL LÓPEZ OBRADOR, Jefe de Gobierno del Distrito Federal, a sus habitantes sabed:

Que la Honorable Asamblea Legislativa del Distrito Federal III Legislatura, se ha servido dirigirme el siguiente:

D E C R E T O

(Al margen superior izquierdo el escudo nacional que dice: **ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.- ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL.- III LEGISLATURA**)

LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL

III LEGISLATURA

D E C R E T A :

DECRETO DE LEY QUE ESTABLECE EL DERECHO A UN PAQUETE DE ÚTILES ESCOLARES POR CICLO ESCOLAR A TODOS LOS ALUMNOS RESIDENTES EN EL DISTRITO FEDERAL, INSCRITOS EN ESCUELAS PÚBLICAS DEL DISTRITO FEDERAL EN LOS NIVELES DE PREESCOLAR, PRIMARIA Y SECUNDARIA.

Artículo 1.- Los alumnos radicados en el Distrito Federal, inscritos en las escuelas públicas de la Entidad en los niveles de preescolar, primaria y secundaria escolarizadas tienen derecho a recibir gratuitamente un paquete básico de útiles escolares determinado a partir de la lista oficial de útiles aprobada por la SEP en correspondencia a cada ciclo escolar que inicien.

³ Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Ed. Berbera Editores, México DF 2007

⁴ <<http://www.df.gob.mx/leyes/normatividad.html?materia=1&apartado=1&disp=361>> [consulta: 08/02/2008]



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Para los efectos de esta Ley, se considerara a los alumnos inscritos en el nivel preescolar, los Centros de Desarrollo Infantil (CENDIS) y Estancias Infantiles dependientes del Gobierno del Distrito Federal.

Artículo 2º.- El Jefe de Gobierno del Distrito Federal deberá incluir en su Proyecto de Presupuesto de Egresos del Distrito Federal, un monto que garantice la operación del programa que otorgue al inicio de cada ciclo escolar, un paquete de útiles escolares a todos los alumnos inscritos en escuelas públicas del Distrito Federal en los niveles de preescolar, primaria y secundaria.

Artículo 3º.- La Asamblea Legislativa del Distrito Federal deberá aprobar en el Decreto de Presupuesto Anual la asignación suficiente para hacer efectivo el derecho de un paquete de útiles a los alumnos inscritos en escuelas públicas del Distrito Federal en los términos del artículo primero de esta Ley.

Artículo 4º.- La dependencia del Gobierno del Distrito Federal responsable de operar el proceso de formación, adquisición, distribución y entrega de los paquetes de útiles escolares, será aquella a la que la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal le confiere atribuciones en materia educativa.

Artículo 5º.- En el ámbito de sus facultades, el Jefe de Gobierno elaborará la reglamentación del programa en la que se establezcan los requisitos y procedimientos necesarios para hacer efectivo el derecho que establece esta Ley, así como los mecanismos para la evaluación y fiscalización del programa.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- La presente ley, entrará en vigor para el año 2004 una vez que se cuente con la suficiencia presupuestal, para hacer efectivo el derecho a un paquete de útiles escolares por ciclo escolar a todos los alumnos residentes en el Distrito Federal, inscritos en escuelas públicas en los niveles preescolar, primaria y secundaria.

SEGUNDO.- Con la entrada en vigor de la presente ley en la distribución del paquete de útiles escolares se entregará a cada estudiante que se encuadre en la presente, los libros de texto necesarios acordes a su nivel escolar de manera gratuita.

Recinto de la Asamblea Legislativa del Distrito Federal, a los treinta días del mes de diciembre del año dos mil tres. POR LA MESA DIRECTIVA.- DIP. LORENA VILLAVICENCIO AYALA, PRESIDENTA.- DIP. GABRIELA GONZÁLEZ MARTÍNEZ, SECRETARIA.- DIP. JUVENTINO RODRÍGUEZ RAMOS, SECRETARIO.- FIRMAS

En cumplimiento de lo dispuesto por los artículos 122, apartado C, Base Segunda, fracción II, inciso b) de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 48, 49 y 67, fracción II y 90 del Estatuto de Gobierno del Distrito Federal, y para su debida publicación y observancia, expido el presente Decreto Promulgatorio, en la Residencia Oficial del Jefe de Gobierno del Distrito Federal, en la Ciudad de México a los dieciséis días del mes de enero de dos mil cuatro. **EL JEFE DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, ANDRÉS MANUEL LÓPEZ OBRADOR.- FIRMA.- EL SECRETARIO DE GOBIERNO, ALEJANDRO ENCINAS RODRÍGUEZ.- FIRMA.- LA SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL, RAQUEL SOSA ELÍZAGA.-FIRMA**

TRANSITORIO DEL DECRETO QUE ADICIONA UN PÁRRAFO AL ARTÍCULO 1 DE LA LEY QUE ESTABLECE EL DERECHO A UN PAQUETE DE ÚTILES ESCOLARES POR CICLO ESCOLAR A TODOS LOS ALUMNOS RESIDENTES EN EL DISTRITO FEDERAL, INSCRITOS EN ESCUELAS PÚBLICAS DEL DISTRITO FEDERAL, EN LOS NIVELES DE PREESCOLAR, PRIMARIA Y SECUNDARIA, PUBLICADO EN LA GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL EL 14 DE JUNIO DE 2006.

ÚNICO.- La adición a la presente Ley, entrara en vigor para el año 2007, una vez que se cuente con la suficiencia presupuestal para los efectos de esta Ley.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

De acuerdo al Decreto es responsabilidad actualmente de la Secretaría de Desarrollo Social del Distrito Federal el operar el proceso de formación, adquisición, distribución y entrega de los paquetes de útiles escolares, los cuales son otorgados a todos los alumnos inscritos en escuelas públicas de nivel básico, que comprende preescolar, primaria y secundaria, además de los Centros de Desarrollo Infantil (CENDIS) y Estancias Infantiles dependientes del Gobierno del Distrito Federal.

Para tal efecto y en apoyo a la entrega y distribución de los útiles escolares fueron abiertos centros de distribución (CD's) en las 16 delegaciones del Distrito Federal, con base en el número de escuelas de cada demarcación. En el ciclo escolar 2007-2008 fueron abiertos los 50⁵ centros de distribución que se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Centros de distribución⁶

DELEGACIÓN	NÚMERO DE ESCUELAS	NÚMERO DE CENTROS DE DISTRIBUCIÓN
ALVARO OBREGON	302	4
AZCAPOTZALCO	281	2
BENITO JUAREZ	144	1
COYOACAN	280	2
CUAJIMALPA	81	1
CUAUHTEMOC	349	3
GUSTAVO A MADERO	679	7
IZTACALCO	240	3
IZTAPALAPA	848	10
MAGDALENA CONTRERAS	113	2
MIGHEL HIDALGO	203	2
MILPA ALTA	70	1
TLAHUAC	167	3
TLALPAN	248	3
VENUSTIANO CARRANZA	272	3
XOCHIMILCO	185	3
TOTAL	4462	50

5 Se menciona en la sección 1.1 que actualmente son 56 CD's, sin embargo en la consulta de éstos, sólo aparecen 50 CD's

6 <<http://www.locatel.df.gob.mx/kescolar/informativo.php>> [consulta: 08/02/2008]



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

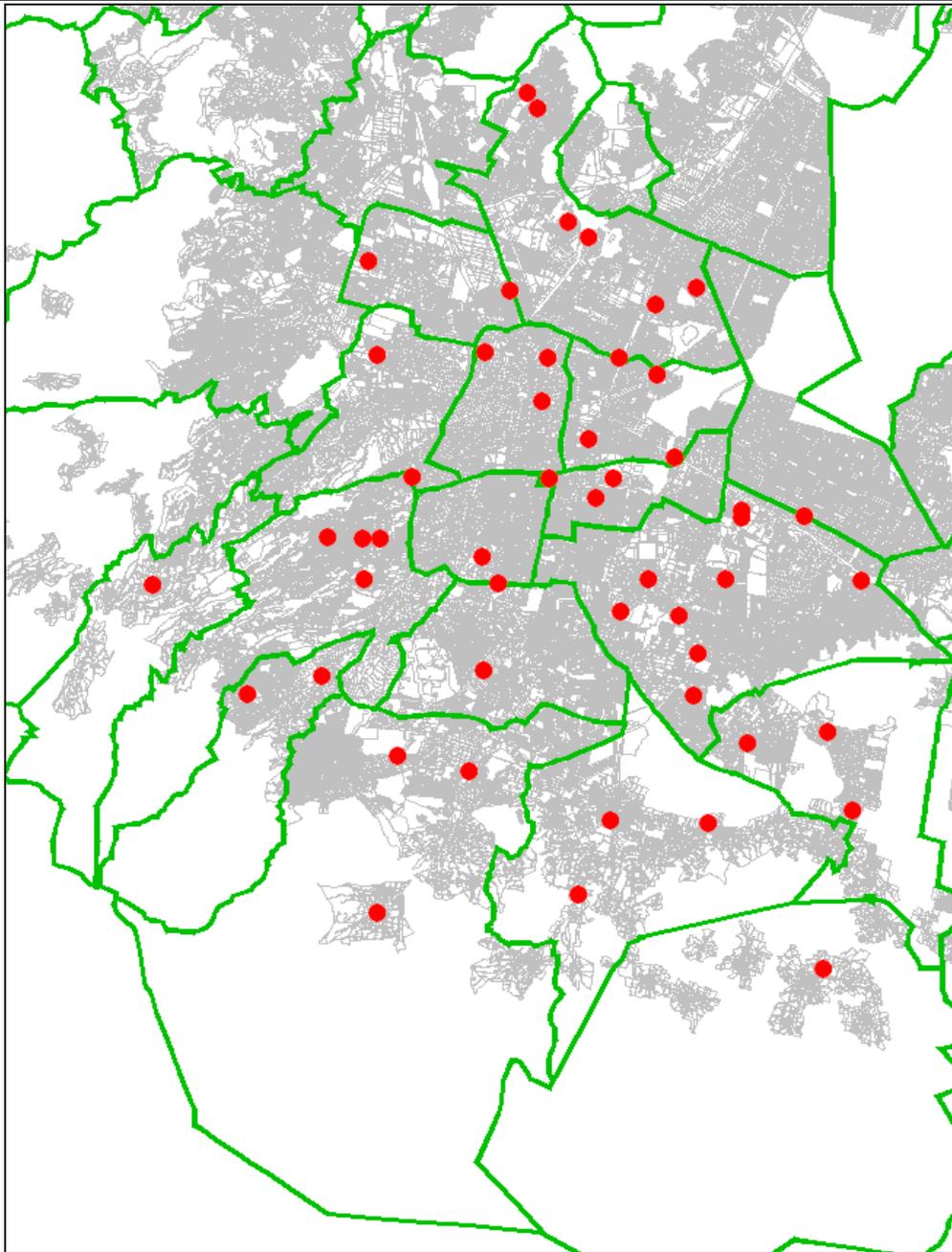


Figura 1.1 Mapa con los 50 CD's⁷

En la Figura 1.1 se muestra un mapa del Distrito Federal en donde se localizan geográficamente los 50 CD's, además se observan la traza urbana y los límites delegacionales.

⁷ Fuente: Elaboración propia con información de <<http://www.locatel.df.gob.mx/kescolar/informativo.php>> [consulta: 08/02/2008]



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

1.3. LISTA OFICIAL DE ÚTILES ESCOLARES

El contenido del paquete de útiles escolares no se conoce con exactitud, pero está basado en la lista oficial de útiles escolares que da a conocer la Secretaría de Educación Pública (SEP) cada ciclo escolar. A continuación se presenta la citada lista para el ciclo más reciente:

Lista Oficial de Útiles Escolares del ciclo lectivo 2007-2008 ⁸

Educación Preescolar

Los materiales y útiles escolares necesarios para iniciar las actividades del ciclo escolar en los Jardines de Niños, como diferentes tipos de papel, pinturas, pinceles, brochas, pegamentos, tijeras y plastilina (no tóxicos), serán adquiridos de común acuerdo con los padres de familia y conforme a los requerimientos de las actividades que realizan los niños de este nivel educativo.

Educación Primaria

Primer grado:

Un cuaderno de cuadrícula grande de 100 hojas.

Un cuaderno de rayas de 100 hojas.

Un cuaderno de 50 hojas blancas.

Un lápiz del número 2, un bicolor y una goma para borrar.

Una caja de seis lápices de colores de madera o una caja de seis pinturas de cera.

Un pegamento líquido o un lápiz adhesivo, ambos no tóxicos.

Una regla de plástico, un sacapuntas y unas tijeras de punta roma.

Diferentes tipos de papel (bond, cartoncillo, cartulina, china, lustre, etcétera).

Un bloc de hojas blancas tamaño carta o un paquete de 100 hojas blancas.

Una barra de plastilina.

Una calculadora con las cuatro operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división).

⁸ <<http://www.sepbcs.gob.mx/comunicacion/Noticias%20educacion/Noticias%202007/utiles%20escolares.htm>> [consulta: 15/05/2008]



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Segundo grado:

Un cuaderno de cuadrícula grande de 100 hojas.

Un cuaderno de rayas de 100 hojas.

Un cuaderno de 50 hojas blancas.

Un lápiz del número 2, un bicolor y una goma para borrar.

Una caja de 12 lápices de colores de madera o una caja de 12 pinturas de cera.

Un pegamento líquido o un lápiz adhesivo, ambos no tóxicos.

Una regla de plástico, un sacapuntas y unas tijeras de punta roma.

Diferentes tipos de papel (bond, cartoncillo, cartulina, china, lustre, etcétera).

Un bloc de hojas blancas tamaño carta o un paquete de 100 hojas blancas.

Una barra de plastilina.

Un diccionario escolar.

Una calculadora con las cuatro operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división).

Tercer grado:

Cuatro cuadernos de cuadrícula chica tamaño carta de 100 hojas.

Un cuaderno de rayas de 100 hojas.

Un lápiz del número 2, un bicolor y un bolígrafo.

Una caja de 12 lápices de colores de madera y una goma para borrar.

Un pegamento líquido o un lápiz adhesivo, ambos no tóxicos.

Un juego de geometría con regla graduada de 30 cm, un sacapuntas y unas tijeras de punta roma.

Un bloc de hojas rayadas, o de cuadrícula, tamaño carta, o un paquete de 100 hojas blancas.

Un diccionario escolar.

Una calculadora con las cuatro operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división).



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Cuarto grado:

Cuatro cuadernos de cuadrícula chica tamaño carta de 100 hojas.

Un cuaderno de rayas de 100 hojas.

Un lápiz del número 2, un bicolor y un bolígrafo.

Una caja de 12 lápices de colores de madera y una goma para borrar.

Un pegamento líquido o un lápiz adhesivo, ambos no tóxicos.

Un juego de geometría con regla graduada de 30 cm, un sacapuntas y unas tijeras de punta roma.

Un bloc de hojas rayadas, o de cuadrícula, tamaño carta, o un paquete de 100 hojas blancas.

Un diccionario escolar.

Una calculadora con las cuatro operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división).

Quinto grado:

Cuatro cuadernos, tres de cuadrícula chica y uno de hojas blancas, tamaño carta de 100 hojas.

Un cuaderno de rayas de 100 hojas.

Un lápiz del número 2, un bicolor y un bolígrafo.

Una caja de 12 lápices de colores de madera y una goma para borrar.

Un pegamento líquido o un lápiz adhesivo, ambos no tóxicos.

Un juego de geometría con regla graduada de 30 cm, un sacapuntas y unas tijeras de punta roma.

Un compás de precisión.

Un bloc de hojas blancas, tamaño carta, o un paquete de 100 hojas blancas.

Un diccionario escolar.

Una calculadora con las cuatro operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división).



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Sexto grado:

Cuatro cuadernos, tres de cuadrícula chica y uno de hojas blancas, tamaño carta de 100 hojas.

Un cuaderno de rayas de 100 hojas.

Un lápiz del número 2, un bicolor y un bolígrafo.

Una caja de 12 lápices de colores de madera y una goma para borrar.

Un pegamento líquido o un lápiz adhesivo, ambos no tóxicos.

Un juego de geometría con regla graduada de 30 cm, un sacapuntas y unas tijeras de punta roma.

Un compás de precisión.

Un bloc de hojas blancas, tamaño carta, o un paquete de 100 hojas blancas.

Un diccionario escolar.

Una calculadora con las cuatro operaciones básicas (suma, resta, multiplicación y división).

Notas:

- a) La adquisición de los diferentes tipos de papel para primero y segundo grados, lo determinará el profesor conforme a los requerimientos de los programas y de común acuerdo con los padres de familia. Si es necesario solicitar diferentes tipos de papel de tercero a sexto grados, se sugiere hacerlo de manera previa al desarrollo de las actividades a fin de evitar su deterioro.
- b) Para el desarrollo de las actividades escolares es conveniente aprovechar los recursos que ofrece el entorno de la escuela y utilizar, siempre que sea posible, materiales de reuso.
- c) Es recomendable que a partir del segundo grado cada alumno cuente con su propio diccionario y que, de acuerdo con los requerimientos de los programas y dependiendo del grado que curse, este material cuente con un mayor número de palabras y elementos de consulta. De no ser posible, bastará con adquirir algunos diccionarios para todo el grupo, de preferencia de diferentes tipos y complejidad.
- d) Se sugiere que desde primer grado cada alumno cuente con su calculadora. De no ser así, bastará con conseguir las que sean necesarias para realizar las actividades en equipo.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Educación Secundaria (para cada uno de los tres grados)

Un cuaderno de 100 hojas para cada una de las asignaturas. El tipo de cuaderno será determinado por el profesor correspondiente.

Un lápiz, un bicolor, un sacapuntas y un bolígrafo.

Una caja de lápices de colores y una goma para borrar.

Un pegamento líquido o un lápiz adhesivo, ambos no tóxicos.

Un juego de escuadras sin graduar, un compás de precisión, una regla graduada y un transportador.

Un bloc de hojas tamaño carta, o un paquete de 100 hojas.

Un diccionario escolar.

Una calculadora científica.

Notas:

- a) Es recomendable que cada alumno cuente con una calculadora científica. De no ser posible, se recomienda disponer de un número suficiente de calculadoras para trabajar en pequeños grupos.
- b) El tipo de diccionario que se adquiriera para este nivel será de acuerdo con los requerimientos de los programas. Es necesario que contenga un número amplio de palabras y elementos de consulta.
- c) Como una medida de seguridad y protección a la salud de los alumnos, se sugiere el uso de la bata en las escuelas que tengan laboratorio, independientemente de que se realicen o no prácticas en cada sesión.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

A continuación se lista el contenido de los paquetes de útiles escolares, de acuerdo a información de testimonios.

Preescolar⁹

CANTIDAD	ARTÍCULO	CANTIDAD	ARTÍCULO
1	Crayolas (12 pzas)	1	Tijeras
1	80 Hojas blancas	2	Papel crepe
1	Pegamento líquido	2	Papel china
1	Plastilina (12 barras)	2	Cartoncillo
1	50 Hojas revolución	1	Acuarela

Primero y segundo de primaria¹⁰

CANTIDAD	ARTÍCULO	CANTIDAD	ARTÍCULO
3	Cuaderno profesional	1	Pegamento líquido
4	Cuaderno forma Italiana	1	Goma
1	Colores (12 pzas)	1	Sacapuntas
1	Crayolas (12 pzas)	1	Papel china
1	Plastilina (1 barra)	1	Papel china
1	Tijeras		

Tercero y cuarto de primaria⁹

CANTIDAD	ARTÍCULO	CANTIDAD	ARTÍCULO
6	Cuaderno profesional	1	Tijeras
1	Juego de geometría	1	Pegamento líquido
1	Diccionario	1	Goma
1	Colores (12 pzas)	1	Sacapuntas
1	80 Hojas blancas	2	Lápices
1	Marca textos	1	Plumas

9 Lic. Diana I. Martínez Mtz., Testimonio Mayo 28, México 2008
10 Sra. Elvira Mendoza, Testimonio Mayo 28, México 2008



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Quinto y sexto de primaria¹¹

CANTIDAD	ARTÍCULO	CANTIDAD	ARTÍCULO
5	Cuaderno profesional	1	Tijeras
1	Juego de geometría	1	Pegamento líquido
1	Diccionario	1	Goma
1	Colores (12 pzas)	1	Sacapuntas
1	80 Hojas blancas	2	Lápices
1	Compás	1	Plumas

Secundaria¹²

CANTIDAD	ARTÍCULO	CANTIDAD	ARTÍCULO
4	Cuaderno profesional	1	Bicolor
1	Juego de geometría	1	Pegamento líquido
1	Diccionario	1	Goma
1	Colores (12 pzas)	1	Sacapuntas
1	100 Hojas blancas	1	Lápices
1	Plumas		

11 Sr. Jorge, Testimonio Mayo 26, México 2008

12 Alumna Sara Torres Martínez, Testimonio Mayo 26, México 2008



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

1.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE ALUMNOS EN EL DISTRITO FEDERAL

El Marco Geoestadístico Nacional es un sistema que permite relacionar la información estadística con el espacio geográfico correspondiente, divide al territorio nacional en áreas de fácil identificación en campo y es adecuado para las actividades de captación de información¹³.

Estas unidades se denominan Áreas Geoestadísticas y son:

- Estatales (AGEE)
- Municipales (AGEM)
- Básicas (AGEB)

Estas últimas constituyen la unidad fundamental del Marco Geoestadístico, el cual se ajusta a los límites municipales y estatales de la división político-administrativa del país.

Para localizar la concentración de alumnos de las escuelas públicas en el Distrito Federal se utilizaron las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB). En la Figura 1.2 se muestra la matrícula total de los niveles preescolar, primaria y secundaria¹⁴, y en las Figuras 1.3, 1.4 y 1.5 se muestran la matrícula de los alumnos de educación preescolar, primaria y secundaria respectivamente.

13 <<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/cartocen/cartocen.cfm?c=334>> [consulta: 15/05/2008]

14 GDF (2008), Base de datos de escuelas e inmuebles del Distrito Federal, Secretaría de Educación, GDF.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

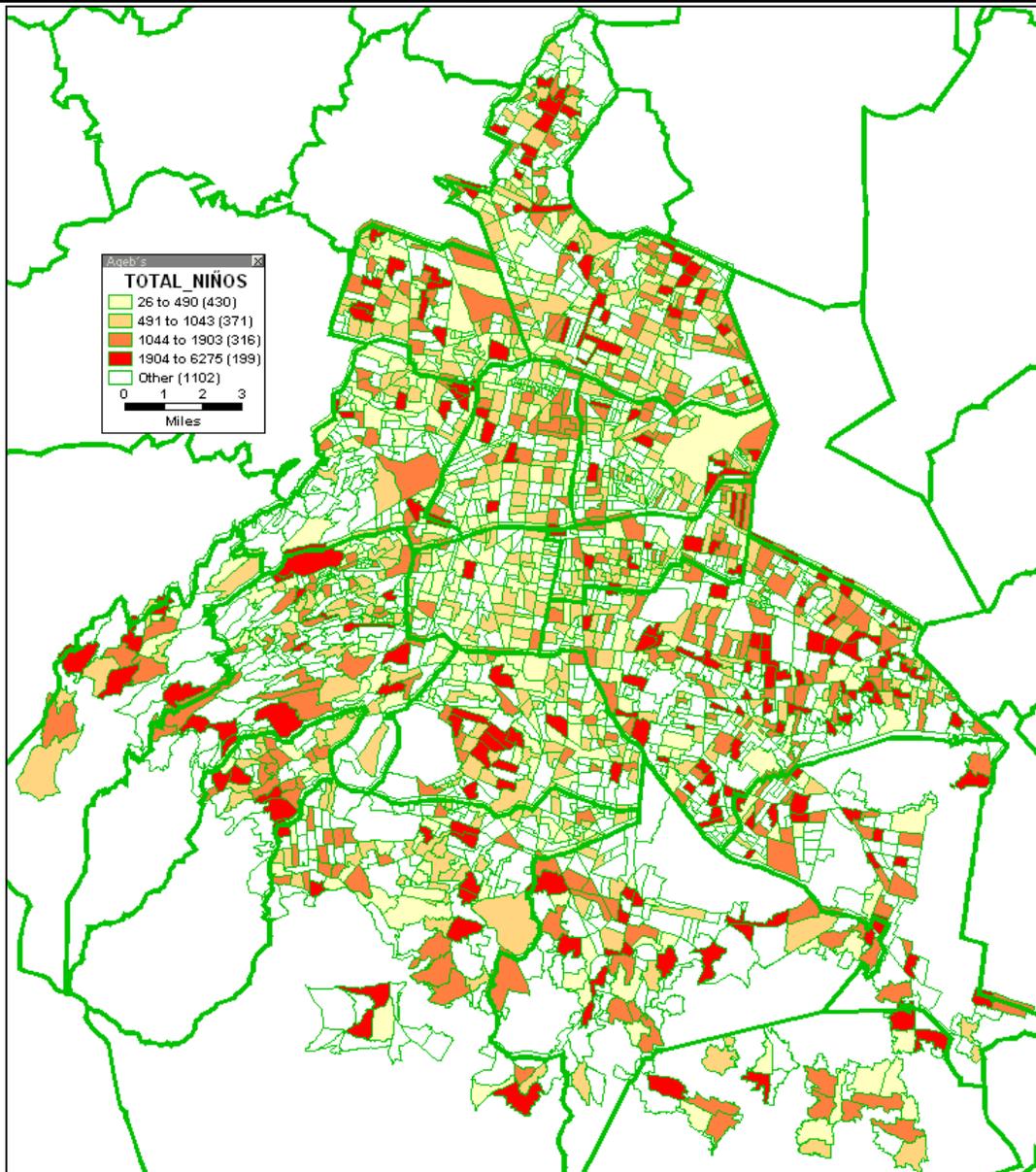


Figura 1.2 Mapa de la concentración de los alumnos por AGEB¹⁵

La distribución de alumnos de educación básica por AGEB se muestra en la Figura 1.2, donde el nivel de concentración se representa por la tonalidad del color rojo, especificando que mientras más fuerte es el matiz, mayor concentración existe. Se observa que las delegaciones con una mayor cantidad de alumnos son Iztapalapa y Gustavo A. Madero.

¹⁵ Fuente: Elaboración propia con información de la SE-DF



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

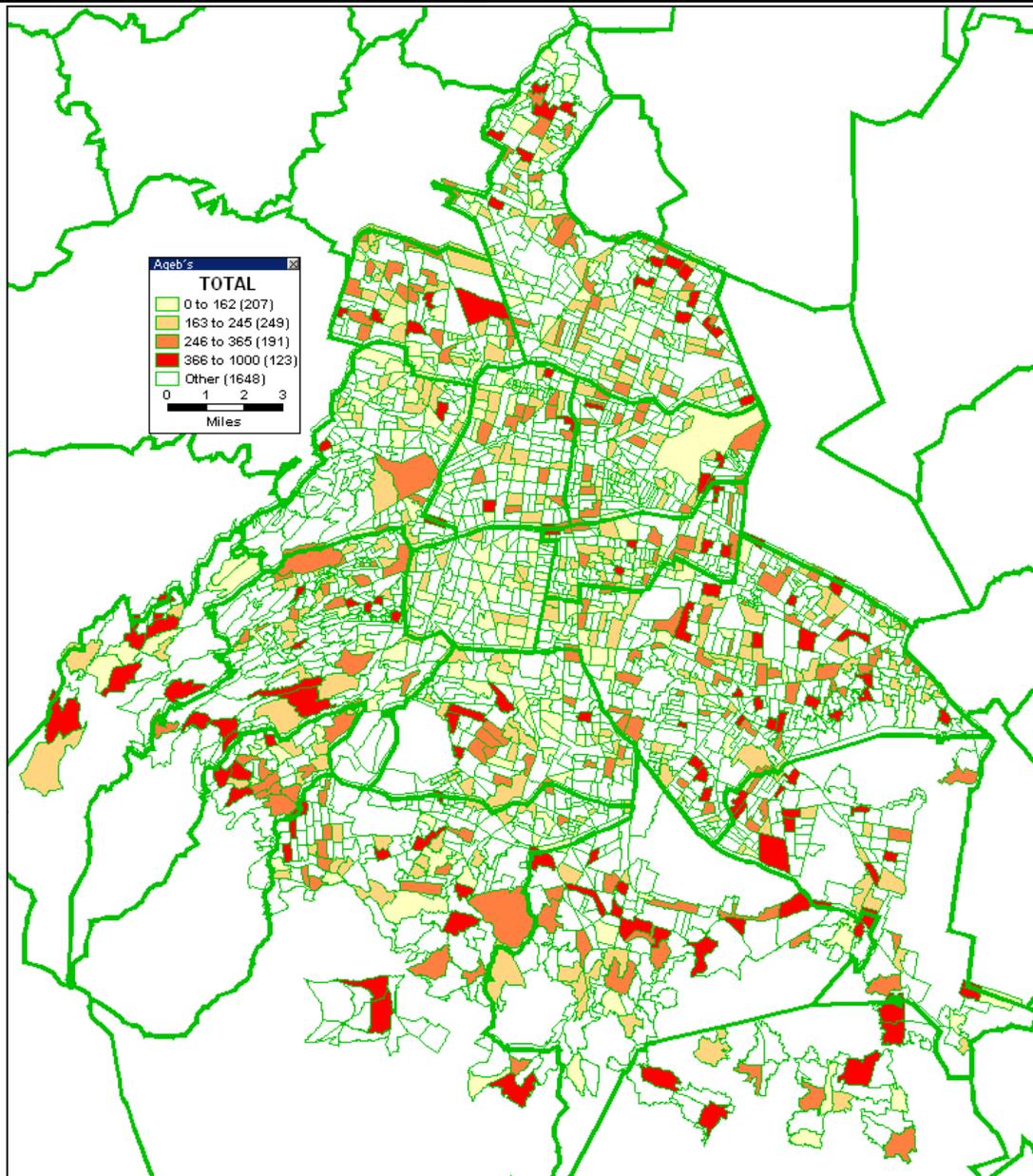


Figura 1.3 Mapa de la concentración de los alumnos de preescolar por AGEB¹⁶

En la Figura 1.3 se muestra la distribución de alumnos de preescolar por AGEB. Se observa que las delegaciones de Iztapalapa, Azcapotzalco y Gustavo A. Madero son las que más alumnos tienen. Cabe aclarar que la cantidad de niños va en relación al número de áreas marcadas en rojo en cada delegación y no a la extensión de éstas.

¹⁶ Fuente: Elaboración propia con información de la SE-DF



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

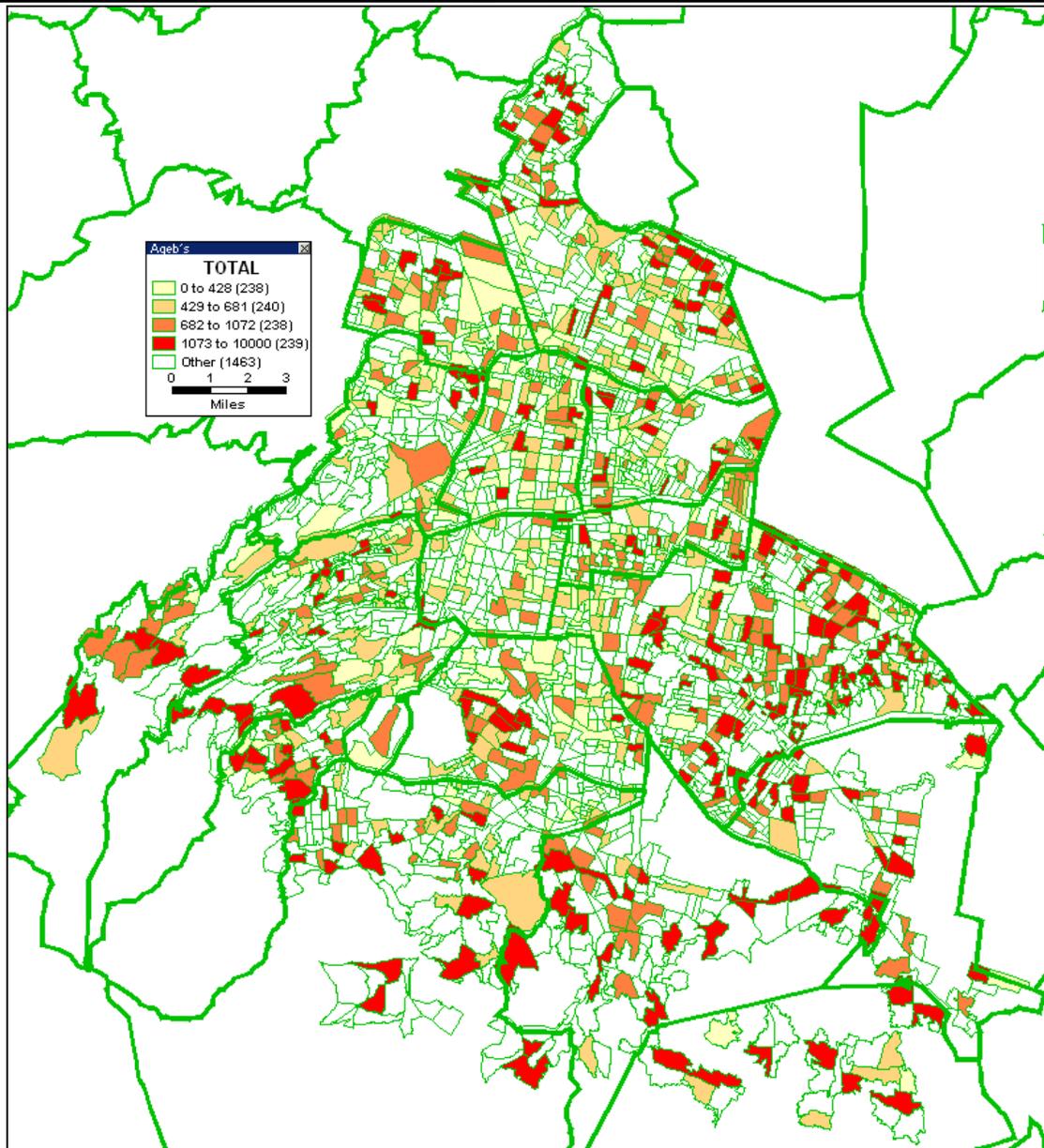


Figura 1.4 Mapa de la concentración de los alumnos de primaria por AGEB¹⁷

La Figura 1.4 presenta una mayor concentración de niños en general, por tratarse de seis grados en este nivel. Se observa el mismo patrón de densidad que en la figura anterior, resaltando la delegación Benito Juárez como aquella con la menor concentración en el Distrito Federal.

¹⁷ Fuente: Elaboración propia con información de la SE-DF



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

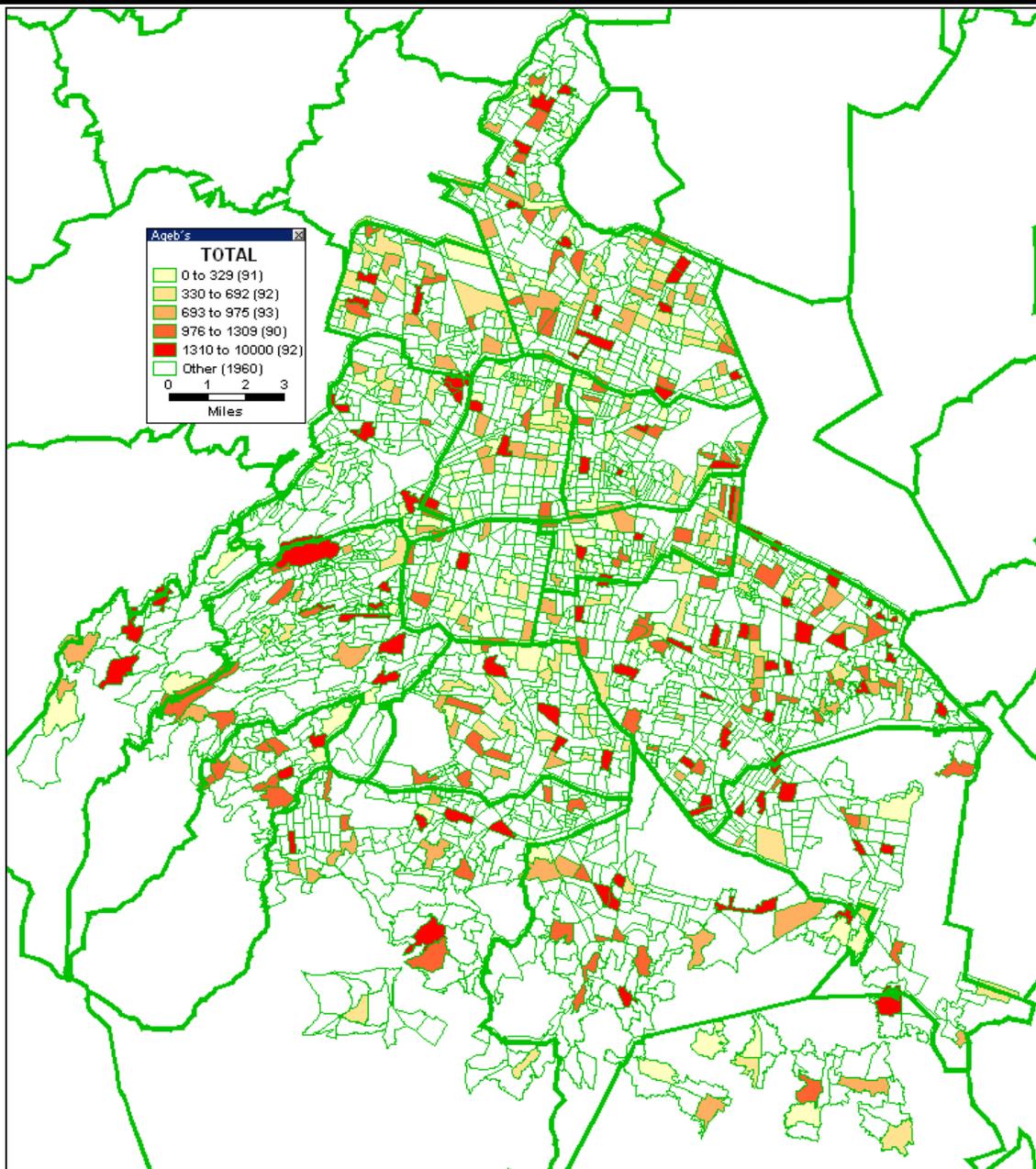


Figura 1.5 Mapa de la concentración de los alumnos de secundaria por AGEB¹⁸

En la Figura 1.5 se muestra la distribución de alumnos para el nivel secundario, en donde se muestra una mayor homogeneidad en las delegaciones.

¹⁸ Fuente: Elaboración propia con información de la SE-DF



CAPÍTULO 2: PROBLEMAS DE RUTAS DE VEHÍCULOS

Introducción

En este capítulo se describen los distintos tipos de problemas de rutas de vehículos y sus variantes, además de las diferencias entre éstos para su posible aplicación en problemas reales; también se mencionan los diferentes tipos de resolución y su formulación. Se describe qué es un SIG y sus diversas aplicaciones en transporte y otros temas.



2.1. AGENTE VIAJERO

El problema del agente viajero (comúnmente llamado TSP por sus siglas en inglés) está basado en la suposición de que un agente de ventas que parte de una ciudad de origen tiene que recorrer un número determinado de ciudades, visitando cada una de ellas una sola vez, y al final regresar a la ciudad de donde salió. Se asume que se conoce la distancia entre cada ciudad y se determina una ruta que optimice tiempo, distancia, valor monetario u otro criterio.

En la Figura 2.1 se muestra un TSP en forma esquemática, donde se observa la ciudad de origen “A” y el conjunto de ciudades a visitar “B, C y D”, así como la distancia entre cada una representada por líneas.

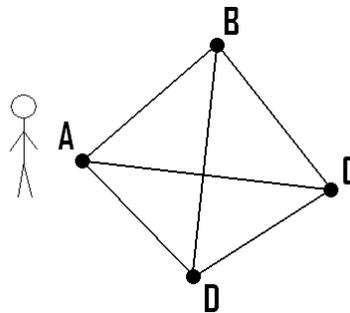


Figura 2.1 Representación esquemática del Problema del Agente Viajero o TSP¹

El establecer cuándo un problema es fácil o difícil de resolver está relacionado con el tiempo de solución del mismo. Se dice que un problema es fácil de resolver cuando es posible encontrar un método de solución cuyo tiempo de ejecución en una computadora crece moderadamente o polinomial con el tamaño del problema. Y un problema es considerado difícil de resolver cuando el tiempo de resolución crece exponencialmente al tamaño del problema.²

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_rutas_de_veh%C3%ADculos

² M. R. Garey y D. S. Jonson. (1979)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

El TSP es de complejidad NP-completo³. Es así, porque el número de posibles soluciones crece exponencialmente con el número de nodos destino, por ejemplo para determinar las posibles soluciones de un TSP de manera sencilla se enumeran las posibles rutas por medio de combinaciones. Así las posibles combinaciones del TSP de la Figura 2.1 son:

1. ABCD
2. ABDC
3. ACBD
4. ACDB
5. ADBC
6. ADCB

En las anteriores soluciones se observa que la ciudad “A” siempre aparece en primer lugar, ya que es la ciudad de origen, por tanto se reduce el número de soluciones a $n-1$ y se tienen grupos ordenados de tercer orden con tres elementos y al aplicar la fórmula de ordenación⁴ se tiene:

$$O_n^r = \frac{n!}{(n-r)!} \quad (2.1)$$

donde n representa el número de elementos o ciudades y r el orden; aplicado al anterior problema se tiene: $\frac{3!}{(3-3)!} = \frac{3!}{0!} = 3! = 3*2*1 = 6$ soluciones posibles.

Sin embargo al aplicar la anterior expresión para 15 ciudades se tiene que el número de posibles soluciones es $14! = 87,178,291,200$.

³ M. R. Garey y D. S. Johnson. (1979)

⁴ Mendenhall, William (2008)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Tamaño n	$f(n)=n$	$f(n)=n^2$	$f(n)=n^3$	$f(n)=n^5$	$f(n)=2^n$	$f(n)=3^n$
10	.00001 seg	.0001 seg	.001 seg	.1 seg	.001 seg	.059 seg
20	.00002 seg	.0004 seg	.008 seg	3.2 seg	1.0 seg	58 minutos
30	.00003 seg	.0009 seg	.027 seg	24.3 seg	17.9 minutos	6.5 años
40	.00004 seg	.0016 seg	.064 seg	1.7 minutos	12.7 días	3855 siglos
50	.00005 seg	.0025 seg	.125 seg	5.2 minutos	35.7 años	2×10^8 siglos
60	.00006 seg	.0036 seg	.216 seg	13 minutos	366 siglos	1.3×10^{13} siglos

Figura 2.2 Comparación de funciones polinomiales y exponenciales⁵

En la Figura 2.2 se muestran funciones polinomiales y exponenciales y su tiempo de ejecución en una computadora que procesa un millón de operaciones por segundo, esto demuestra que para problemas con funciones exponenciales (últimas dos columnas de la Figura 2.2) el tiempo de solución sobrepasa las capacidades de cálculo de los ordenadores más potentes.

Los elementos principales de un TSP son grafos, nodos y arcos con las siguientes características:

$G = (V, A)$, donde G es un grafo que contiene el conjunto V y el conjunto A .

El conjunto V contiene n elementos que representan los nodos o ciudades, donde $V = \{1, 2, \dots, n\}$ es el conjunto de nodos.

El conjunto A contiene los arcos (i, j) que asocian cada par de ciudades o nodos a una distancia $d(i, j)$.

⁵ M. R. Garey y D. S. Johnson (1979)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Dependiendo de la dirección de los arcos, existen diferentes tipos de grafos, cuando los arcos no tienen dirección o son unidireccionales, el grafo es no dirigido y las conexiones se representan como en la Figura 2.1; cuando los arcos son dirigidos se denotan por (a,b) donde a es el nodo inicial y b es el final, el grafo es dirigido y los arcos son representados como en la Figura 2.3.

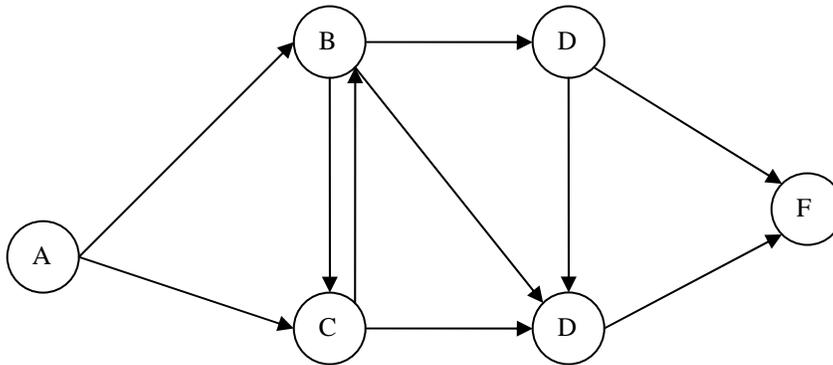


Figura 2.3 Grafo dirigido

Retomando la descripción del TSP, se tiene un conjunto de n ciudades que tienen que ser visitadas una sola vez cada una y al final regresar a la ciudad de origen; la solución es conocida como ruta y una manera de formular el problema es mediante programación lineal.

El modelo TSP se formula de la siguiente manera⁶:

Sea

C_{ij} = La distancia entre la ciudad o nodo i y la ciudad o nodo j

X_{ij} = 1 si el vehículo (agente) va del nodo i al nodo j , y 0 en otro caso, donde $i, j \in \{1, \dots, n\}$

U_i = El tiempo de partida del nodo i

⁶ <http://personales.upv.es/arodrigu/Grafos/TSP.htm>



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Función Objetivo

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (2.2)$$

s.a

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}$$

Condiciones de Tucker

$$U_i - U_j + n * X_{ij} \leq n - 1 \quad 2 \leq i \neq j \leq n \quad (2.5)$$

La función objetivo minimiza la distancia total del recorrido. Las restricciones (2.3) y (2.4) son las que hacen llegar a una ciudad y también salir de ella respectivamente. Las condiciones de Tucker garantizan que la solución sea una ruta, es decir que sea un recorrido que sale de la ciudad origen y termina en la misma ciudad pasando sólo una vez por el conjunto de ciudades a visitar.

Las técnicas de resolución del TSP ⁷ que hasta el momento se han utilizado considerando sus limitantes son:

Aproximaciones exactas: Son métodos que garantizan encontrar una solución óptima, pero no son aplicables a problemas muy grandes debido a que su espacio de búsqueda de soluciones es

⁷ El texto de las técnicas de resolución del TSP fue tomado de Alejandro García del Valle, Optimización de rutas, seguridad en el transporte y sistemas GIS, Universidad de la Coruña, España, 2006.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

muy amplio, además de que el tiempo que se necesitaría para obtener la solución sería inviable.

Se clasifican en:

- Ramificación y acotamiento (hasta 100 nodos)
- Ramificación y corte

Heurísticos: Son métodos que realizan una búsqueda limitada en el espacio de soluciones, y en un tiempo de cómputo relativamente corto se obtiene una solución cercana al óptimo. Los métodos modernos pueden encontrar soluciones con una probabilidad del 2% al 3% lejos del óptimo para un conjunto de nodos de hasta millones.

Este tipo de técnicas se subdividen en:

- Métodos de construcción: Se construye de forma gradual una solución factible a la vez que se minimiza el costo. Entre estos métodos se encuentran:
 - Método de los ahorros de Clark and Wright (1964)
 - Método de emparejamientos
 - Heurística de mejora de multirutas
- Algoritmo de dos fases: Se descompone en sus componentes naturales.
 - 1) Agrupamiento de vehículos en rutas factibles
 - 2) Construcción de la ruta

Meta heurísticos: Realizan una búsqueda intensiva en el espacio de soluciones y la calidad de éstos es mejor que los heurísticos clásicos.

- Algoritmos de hormigas
- Programación restringida
- Recocido simulado
- Algoritmos genéticos



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

- Búsqueda tabú (tabú granular, procedimiento de memoria adaptativa y Nelly and Xu 1999)

El TSP ha sido estudiado por más de 50 años por áreas de optimización y computación y desde entonces no se conoce un método de solución efectivo para un caso general, sin embargo se tiene en la Tabla 2.1 en orden cronológico el tamaño máximo de TSP resuelto hasta el momento.

Tabla 2.1 Línea de tiempo del TSP⁸

Año	Equipo de Investigación	Tamaño	Nombre
1954	G. Dantzig, R. Fulkerson, and S. Johnson	49 ciudades	dantzig42
1971	M. Held and R.M. Karp	64 ciudades	64 random points
1975	P.M. Camerini, L. Fratta, and F. Maffioli	67 ciudades	67 random points
1977	M. Grötschel	120 ciudades	gr120
1980	H. Crowder and M.W. Padberg	318 ciudades	lin318
1987	M. Padberg and G. Rinaldi	532 ciudades	att532
1987	M. Grötschel and O. Holland	666 ciudades	gr666
1987	M. Padberg and G. Rinaldi	2,392 ciudades	pr2392
1994	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, and W. Cook	7,397 ciudades	pla7397
1998	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, and W. Cook	13,509 ciudades	usa13509
2001	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, and W. Cook	15,112 ciudades	d15112
2004	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, W. Cook, and K. Helsgaun	24,978 ciudades	sw24798

⁸ <http://www.tsp.gatech.edu/history/pictorial/usa13509.html>



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

2.2. PROBLEMA DE RUTAS DE VEHÍCULOS (VRP)

El problema de rutas de vehículo (comúnmente llamado VRP por sus siglas en inglés) consiste en determinar el conjunto de rutas de una flota de vehículos desde uno o varios depósitos para dar servicio a un número de clientes esparcidos geográficamente, donde la demanda de éstos es conocida, determinando el mínimo costo, tiempo, distancia u otro criterio de optimización sujeto a restricciones de capacidad de los vehículos, tiempo total de duración para cada ruta y/o ventanas de tiempo.

El VRP es una variante del TSP, considerando a este último como un solo vehículo (agente) con capacidad ilimitada y un depósito o ciudad de origen, teniendo así una sola ruta para poder servir a todos los clientes.

En la Figura 2.3 se muestran los elementos del VRP, donde se cuenta con dos vehículos, un depósito, diez clientes y dos rutas solución.

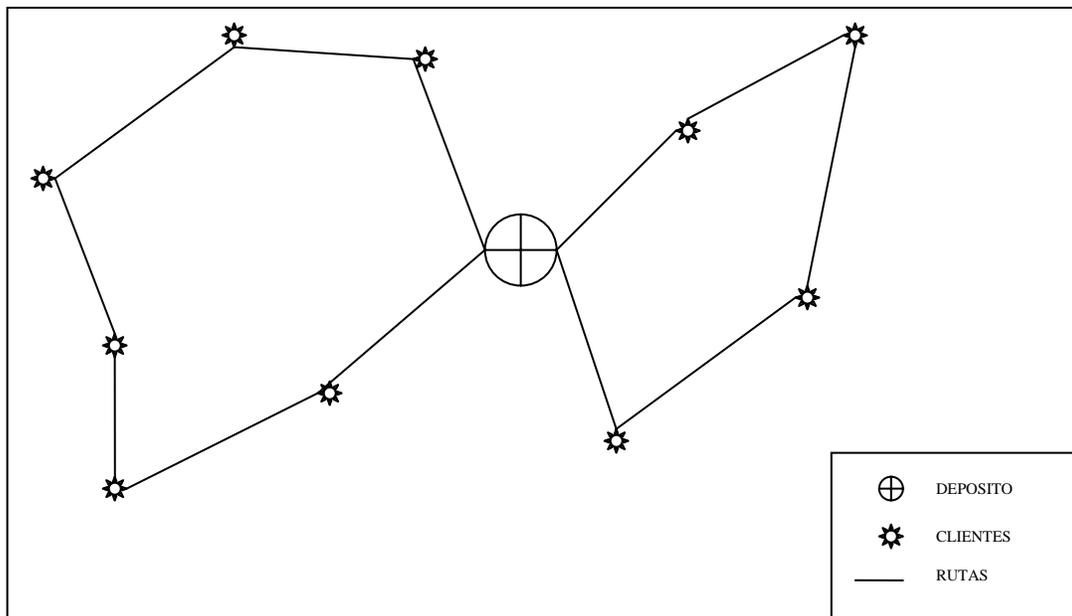


Figura 2.3 Representación gráfica de un Problema de Rutas de Vehículos (VRP)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Los elementos principales de este conjunto de problemas son los siguientes:

- Red de transporte: Son caminos interconectados a diferentes puntos, se utilizan para realizar viajes desde un lugar i hasta otro j , en este caso se consideran como los arcos que comunican a cada par de nodos o lugares de interés.
- Flota de vehículos: Es un conjunto de vehículos de una empresa, especializados para transportar mercancías, artículos o para brindar servicios.
- Clientes y/o proveedores: Es la persona que utiliza con frecuencia los servicios de un profesional o empresa. Los clientes son los que determinan la demanda de un bien o servicio.
- Depósito central: Es el lugar de almacenamiento principal de una cierta compañía utilizado para guardar algo.
- Servicios a atender: Éstos dependen del giro de la empresa y pueden ser entregas, devoluciones de mercancía, o simplemente la satisfacción de un servicio al público en general.
- Rutas solución: Son los caminos que se toma para un propósito en especial, por ejemplo los caminos más cortos o con menos tiempo de viaje.

El modelo de VRP se formula de la siguiente manera:⁹

Sea

Q = Capacidad del vehículo

n = Número de clientes

⁹ Ruiz (2004)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

d_i = Demanda del cliente i , $i > 0$

C_{ij} = La distancia entre el cliente i y el cliente j

Variables

$X_{ij} = 1$ si el vehículo va del cliente i al cliente j , y 0 en otro caso.

Donde $i, j \in \{0, \dots, n\}$ siendo 0 el depósito de origen

Función Objetivo

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, j \neq i}^n C_{ij} X_{ij} \quad (2.6)$$

s.a :

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n X_{ij} = 1, \quad \forall j, j \in \{1, \dots, n\} \quad (2.7)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n X_{ij} = 1, \quad \forall i, i \in \{1, \dots, n\} \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n X_{ij} \leq |S| - 1, \quad S \subseteq \{1, \dots, n\} \quad (2.9)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n X_{ij} \leq |T| - k \quad (2.10)$$

La función objetivo minimiza la distancia total recorrida por la flota de vehículos. La restricción (2.7) asegura que todos los clientes sean visitados por un vehículo y la restricción (2.8) asegura que cada vehículo sirva al cliente que visita.

La restricción (2.9) asegura que los vehículos inicien y terminen su ruta en el depósito de origen y así se evitan posibles subrutas, esta restricción se agrega por cada posible



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

subconjunto S de clientes sin incluir el depósito de origen o $S \subseteq V$ donde $V = \{0\} \cup S$. La restricción (2.10) considera la capacidad de los vehículos evitando sobrecargarlos, esta restricción se agrega por cada conjunto de clientes T (cada conjunto que satisface $\sum_{i \in T} d_i > Q$) incluyendo al origen y k es el número mínimo de los clientes que tienen que ser tomados en el conjunto de clientes T para evitar sobrecargar.

El problema de rutas de vehículos puede ser resuelto por métodos exactos¹⁰ que pueden resolver problemas de un rango de 5 a 9 clientes; por metaheurísticos¹¹ como algoritmos genéticos y búsqueda Tabú¹² utilizados para resolver el VRP estándar, para grandes problemas con una solución cercana a la óptima con 5% de error y para problemas donde la cantidad de tiempo para ser resuelto no es considerada posible.

El empleo de restricciones para el problema de rutas de vehículos en aplicaciones reales destaca la clasificación de los VRP más conocidos, desde restricciones de capacidad, restricciones de tiempos de entrega hasta considerar la devolución de mercancía. A continuación se describen los tipos de VRP más comunes.

2.2.1. VRP CON RESTRICCIONES DE CAPACIDAD

Este problema (comúnmente llamado CVRP por sus siglas en inglés) consiste en determinar las rutas o recorridos de un conjunto de vehículos con cierta capacidad, los cuales parten de un origen común o depósito central pasando por un conjunto de lugares de interés, que en este caso son los clientes, para recoger o distribuir mercancía según una demanda y volver de nuevo al lugar de origen, de manera que se cumplan los criterios de optimización como:

- Minimizar el número total de vehículos (o conductores) requeridos para dar servicio a todos los clientes
- Minimizar los costos fijos asociados con el uso de los vehículos (o los conductores)

10 Onal et al. (1996)

11 Bachem et al. (1996)

12 Xu and Kelly (1996)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

- Minimizar el costo total de transporte (costo fijo más variable de la ruta)
- Balancear las rutas, por tiempo de viaje o carga de vehículo
- Minimizar las penalizaciones asociadas para un servicio parcial a los clientes

El modelo de CVRP se formula de la siguiente manera: ¹³

Sea

C_{ij} = Costo de ir del cliente i al cliente j

d_i = Demanda del cliente i

Q = Capacidad de carga del vehículo k

Variables

$X_{ij} = 1$ si el vehículo va del cliente i al cliente j , y 0 en caso contrario

$y_{ik} = 1$ si el cliente i es atendido por el vehículo k , y 0 en caso contrario

Función objetivo

$$\min = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (2.11)$$

s.a:

$$\sum_{i=1}^n d_i y_{ik} \leq Q \quad k = 1, \dots, m \quad (2.12)$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ij} \leq |S| - 1, \quad S \subseteq \{2, \dots, n\} \quad (2.13)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = \begin{cases} m, & i = 1 \\ 1, & i = 2, \dots, n \end{cases} \quad (2.14)$$

13 Chung-Ho (2008)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = \sum_{i=1}^n X_{ji} = \begin{cases} m, & j = 1 \\ 1, & j = 2, \dots, n \end{cases} \quad (2.15)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n$$

$$y_{ik} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, m$$

La función objetivo reduce el costo total de la ruta, la restricción (2.12) considera la capacidad de los vehículos evitando sobrecargarlos, la restricción (2.13) asegura que los vehículos comiencen su ruta en el depósito de origen evitando posibles subrutas, esta restricción se agrega por cada posible subconjunto S de clientes sin incluir el depósito de origen. La restricción (2.14) asegura que todos los clientes sean atendidos por un vehículo. La restricción (2.15) asegura que los vehículos regresen al depósito.

El CVRP puede ser resuelto por métodos exactos aunque sólo para problemas muy pequeños; también se aplican métodos heurísticos y métodos meta-heurísticos como los métodos de búsqueda Tabú y recocido simulado, que son los más empleados.¹⁴

2.2.2. CVRP CON RESTRICCIONES DE VENTANAS DE TIEMPO

Este problema (llamado CVRPTW por sus siglas en inglés) además de tener la restricción de capacidad, tiene las restricciones de las ventanas de tiempo, que consisten en asociar un intervalo de tiempo a cada cliente para poder entregar o dar servicio. Si un vehículo llega antes de tiempo con el cliente, éste tiene que esperar, pero si llega después del intervalo de tiempo no se surte a este cliente.

El CVRPTW de manera general se formula de la siguiente manera:¹⁵

14 Lin (2008)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Sea

Una red $G = (N, A)$, donde $N = \{0, 1, \dots, n\}$ es el conjunto de nodos y $A = \{(i, j) : i, j \in N, i \neq j\}$ el conjunto de arcos. El nodo 0 representa el origen y $N' = \{1, \dots, n\}$ el conjunto de clientes a ser visitados.

d_i = Demanda de cada cliente

C_{ij} = Costo en un tiempo de recorrido t_{ij} del cliente i al cliente j

Q = Capacidad limitada de cada vehículo

h = Es el costo del vehículo

$[a_i, b_i]$ = Intervalo de tiempo, donde a_i representa el momento más temprano en que es posible atender al cliente i ; si cualquier vehículo llega antes de a_i el vehículo deberá esperar; y b_i es el último momento en el que el cliente i puede ser atendido, donde $a_i = \max(a_0 + t_{0i}, a_i)$ y $b_i = \min(b_0 + t_{i0}, b_i)$. A este tipo de ventanas de tiempo se les conoce como ventanas de tiempo no flexibles.

S_i = Tiempo de servicio para atender a cada cliente i

Se asume que el costo depende del tiempo de recorrido, es decir, $C_{ij} = kt_{ij}, \forall (i, j) \in A$ donde K tiene unidades de $\$/unidad\ de\ tiempo$ y que h es suficientemente grande para garantizar que se minimice el número de vehículos.

Variables

$X_{ij} = 1$ si el vehículo va del cliente i al cliente j , y 0 en caso contrario

F_i = Carga del vehículo a la salida del nodo i

P_i = Principio del servicio en el nodo i



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Función Objetivo

$$\min \sum_{j \in N} hx_{oj} + \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} X_{ij} \quad (2.16)$$

s.a :

$$\sum_{j \in N} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in N' \quad (2.17)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in N' \quad (2.18)$$

$$X_{ij} = 1 \Rightarrow P_i + S_i + t_{ij} \leq P_j \quad \forall (i, j) \in A \quad (2.19)$$

$$a_i \leq P_i \leq b_i \quad \forall i \in N' \quad (2.20)$$

$$X_{ij} = 1 \Rightarrow F_i + d_i \leq F_j \quad \forall (i, j) \in A \quad (2.21)$$

$$d_i \leq F_i \leq Q \quad \forall i \in N' \quad (2.22)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i, j) \in A \quad (2.23)$$

Donde las restricciones (2.17) y (2.18) aseguran que a cada cliente se le asigna una ruta, la restricción (2.19) y la (2.20) se refieren a restricciones en la ventana de tiempo y la (2.21) y la (2.22) son restricciones de capacidad.

El VRPTW puede ser resuelto por técnicas heurísticas y meta heurísticas. Para problemas hasta 500 clientes es posible utilizar algoritmos meta heurísticos como: recocido simulado, algoritmos genéticos (GA) y búsqueda Tabú.¹⁶

¹⁶ Cordone, R (2001)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

2.2.3. VRP CON ENTREGAS Y DEVOLUCIONES

En esta variante del VRP (comúnmente llamada VRPPD por sus siglas en inglés) se tiene contemplada la posibilidad de que los clientes puedan devolver mercancía. Si la capacidad del vehículo no es tomada en cuenta y la planificación es errónea, puede provocar que se utilicen más vehículos y un aumento de las distancias de viaje. Por tanto se debe considerar la demanda de las entregas y las devoluciones, si las devoluciones tienen que ser regresadas al depósito o si hay intercambio entre clientes, y si primero se realizan las entregas y al último las devoluciones.

El VRPPD de manera general se formula de la siguiente manera:¹⁷

Cada cliente $i \in N$ requiere el transporte para devolver un producto i^+ , o para una entrega i^- , donde $N^+ = \{i^+ | i \in N\}$ para el conjunto de devoluciones y $N^- = \{i^- | i \in N\}$ para el conjunto de entregas. Una red $G = (N, A)$, donde $N = \{0, 1, \dots, n\}$ es el conjunto de nodos o clientes y $A = \{(i, j) : i, j \in N, i \neq j\}$ el conjunto de arcos. El nodo 0 representa el origen y $N' = \{1, \dots, n\}$ el conjunto de clientes a ser atendidos. Y para $I = (N^+ \cup N^-) \times (N^+ \cup N^-)$.

d_i = Demanda de cada cliente

C_{ij} = Costo en un tiempo de recorrido t_{ij} del cliente i al cliente j

Q = Capacidad limitada de cada vehículo

k = Pertenece a un conjunto M de vehículos

Dos ventanas de tiempo $[a_{i^+}, b_{i^+}]$, $[a_{i^-}, b_{i^-}]$ donde a_i representa el momento más temprano en que es posible atender al cliente i (si cualquier vehículo llega antes de a_i el vehículo deberá esperar) y b_i es el último momento en el que el cliente i puede ser atendido, donde

¹⁷ Golden B.L. (1991)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

$a_i = \max(a_0 + t_{0i}, a_i)$ y $b_i = \min(b_0 + t_{i0}, b_i)$. A este tipo de ventanas de tiempo se les conoce como ventanas de tiempo no flexibles.

Se asume que el costo depende del tiempo de recorrido, es decir $C_{ij} = Kt_{ij}, \forall (i, j) \in A$ donde K tiene unidades de \$/unidad de tiempo.

Variables

$X_{ij} = 1$ si el vehículo va del cliente i al cliente j , y 0 en caso contrario

$F_i =$ Carga del vehículo a la salida del nodo i

$U_i =$ El tiempo de partida del nodo i

Función Objetivo

$$\min \sum_{(i,j) \in A, k \in M} C_{ij} X_{ij}^k \quad (2.24)$$

s.a:

$$\sum_{k \in M} \sum_{j \in N} X_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in N^+ \quad (2.25)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ij}^k - \sum_{j \in N} X_{ji}^k = 0 \quad \forall i \in N^+ \cup N^-, k \in M \quad (2.26)$$

$$\sum_{j \in N} X_{i^+j}^k - \sum_{j \in N} X_{ji^-}^k = 0 \quad \forall i \in N, k \in M \quad (2.27)$$

$$U_{i^+} + t_{i^+i^-} \leq U_{i^-} \quad \forall i \in N \quad (2.28)$$

$$X_{ij}^k = 1 \Rightarrow U_i + t_{ij} \leq U_j \quad \forall (i, j) \in I, k \in M \quad (2.29)$$

$$a_i \leq U_i \leq b_i \quad \forall i \in N^+ \cup N^- \quad (2.30)$$

$$X_{ij}^k = 1 \Rightarrow F_i + d_i \leq F_j \quad \forall (i, j) \in I, k \in M \quad (2.31)$$



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

$$0 \leq y_i \leq Q \quad \forall i \in N^+ \quad (2.32)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, k \in M \quad (2.33)$$

Las restricciones (2.25), (2.26) y (2.33) son de un problema básico de mínimo costo de multi- productos. La restricción (2.27) asegura que cada i^+ y i^- sea visitado por el mismo vehículo. La restricción (2.28) representa la relación de precedencia entre puntos de entregas y devoluciones. Las restricciones (2.29) y (2.30) aseguran la factibilidad de la precedencia y las restricciones (2.31) y (2.32) garantizan la factibilidad de la carga.

2.2.4. SUBTIPOS DE VRP MÁS COMUNES

VRP CON MÚLTIPLES DEPÓSITOS (MDVRP)

En algunos casos prácticos una empresa puede tener múltiples depósitos. Dos posibles formas de resolver este problema son las siguientes: si los clientes están localizados alrededor de los depósitos y está claramente delimitado el alcance de cada uno, entonces es posible resolver el problema como un VRP básico e independiente para cada depósito; pero si los depósitos y los clientes están entremezclados, se debe asignar cada vehículo a un depósito para que de esta manera resolver el problema como un VRP con múltiples depósitos.

VRP CON ENTREGAS DIVIDIDAS (SDVRP)

Es una variante del VRP en donde un mismo cliente puede ser servido por diferentes vehículos. Este tipo de problema es muy importante cuando el tamaño de la orden del cliente es superior a la capacidad del vehículo. El objetivo es determinar el número mínimo de vehículos para abastecer al cliente.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

VRP PERIÓDICO (PVRP)

En el VRP clásico, el periodo de planificación es de un día, pero para el PVRP el periodo de planificación puede extenderse a M días. Cada vehículo puede no regresar el mismo día de su partida, pero durante el periodo de M días cada cliente tiene que ser visitado al menos una vez.

2.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

“Los SIG son instrumentos tecnológicos de capacidades múltiples, diseñados y habilitados para registrar y almacenar información geográfica, a partir de la cual desarrollan y ejecutan una serie de funciones de análisis espacial que los distinguen. Con el empleo de un SIG es posible observar gráficamente la localización de objetos, hechos o fenómenos que tengan una expresión espacio – temporal.”¹⁸

Los elementos que integran un SIG¹⁹ son:

- Hardware: Es la computadora con la cual opera el SIG, para estos sistemas se requiere de alta velocidad de procesamiento y gran capacidad de almacenamiento.
- Software: Son programas de cómputo para SIG que proveen de herramientas necesarias para almacenar, acceder, analizar, visualizar y representar cartográficamente la información geográfica.
- Datos geográficos: Es la información necesaria para poder realizar un SIG con respecto a un tema. La información puede ser cartográfica y bases de datos.
- Equipo humano: Las personas involucradas en la elaboración del SIG.

¹⁸ <http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt207.pdf>

¹⁹ Longley P.A. (2005)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

A continuación se presenta una descripción de los SIG tomada de <http://www.gis.com/> [consulta: 08/02/2008]

Para la construcción de una base de datos geográfica se necesita un proceso de pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada. Este proceso comienza con la formación de la estructura de la base de datos, generalmente en capas. Dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información que se recopila, se seleccionan las capas temáticas a incluir. En la Figura 2.4 se muestra un ejemplo de las capas que puede contener un SIG.

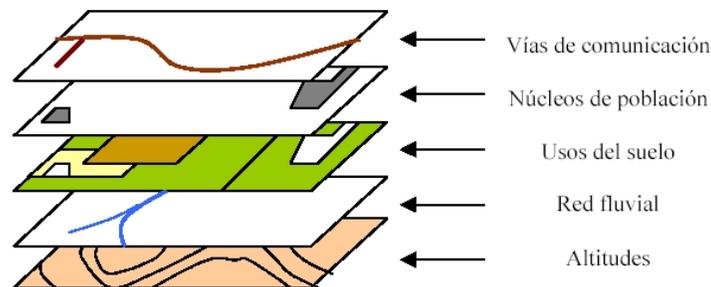


Figura 2.4 Capas de un SIG²⁰

Para estructurar la información espacial proveniente del mundo real en capas, se necesita trabajar la realidad en puntos, líneas o polígonos que es la forma en cómo procesa la información una computadora.

Existen relaciones espaciales entre los objetos geográficos que el sistema no puede obviar, aunque a nivel geográfico las relaciones entre los objetos son muy complejas, siendo muchos los elementos que interactúan sobre cada aspecto de la realidad. Un SIG reduce sus funciones a cuestiones mucho más sencillas, como por ejemplo conocer qué agrupación de líneas forman una determinada carretera.

²⁰ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Sig.jpg>



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Existen diversas formas de modelar estas relaciones entre los objetos geográficos; dependiendo de la forma en cómo se lleve a cabo, se tiene uno u otro tipo de Sistema de Información Geográfica dentro de una estructura de tres grupos principales:

- SIG Vectoriales
- SIG Raster
- SIG Orientados a Objetos

La mayor parte de los sistemas existentes en la actualidad pertenecen a los dos primeros grupos (vectoriales y raster).

Los SIG vectoriales utilizan vectores (básicamente líneas), para delimitar los objetos geográficos, mientras que los SIG raster utilizan una red regular para documentar los elementos geográficos que tienen lugar en el espacio. En la Figura 2.5 se muestra una representación de estos tipos de SIG.

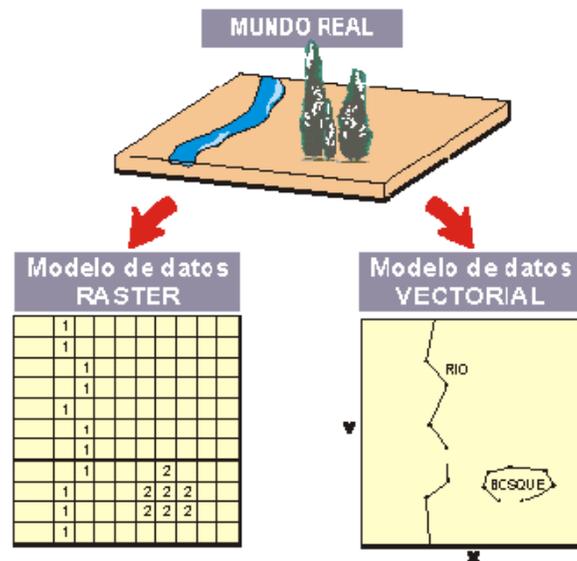


Figura 2.5 SIG raster (izquierda) y SIG vectorial (derecha)²¹

²¹ http://www.ccidep.gob.pe/index.php?option=com_content&task=view&id=11&Itemid=25



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Los SIG Vectoriales son Sistemas de Información Geográfica, que para la descripción de los objetos geográficos utilizan vectores definidos por pares de coordenadas relacionadas a algún sistema cartográfico. Con un par de coordenadas forman un punto, con dos puntos generan una línea, y con una agrupación de líneas forman polígonos.

Los Sistemas de Información Raster se basan en las relaciones de vecindad (límites) entre los objetos geográficos. Divide la zona de interés de la base de datos en una malla regular de pequeñas celdas (denominadas pixels) y se le atribuye un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático. Dado que la malla es regular se conoce la posición del centro de cada una de las celdas en coordenadas y se puede decir que todos los pixels están georeferenciados.

Cuando se requiere una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos, el tamaño del píxel es reducido lo que dará a la malla una resolución alta y por lo tanto mayor costo al momento de procesar la información. En la Figura 2.6 se muestra el procesamiento de objetos geográficos donde los límites son difusos.

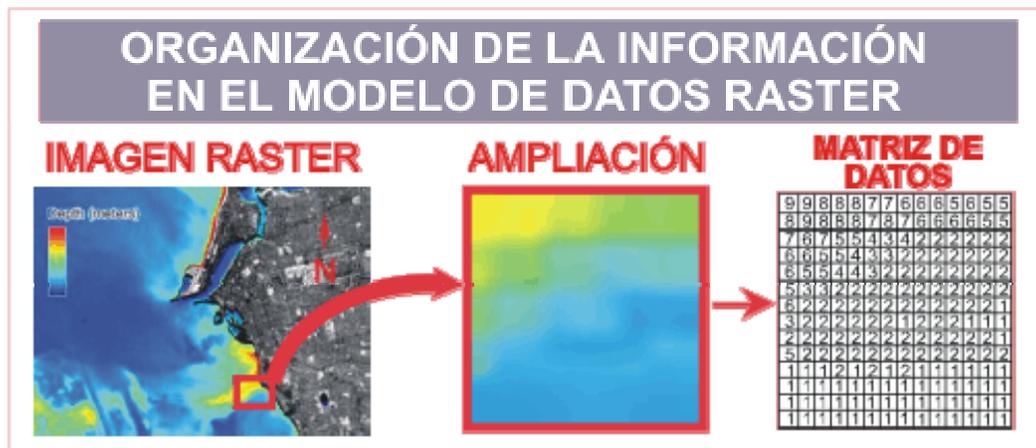


Figura 2.6 SIG raster²²

²² http://www.ccidep.gob.pe/index.php?option=com_content&task=view&id=11&Itemid=25



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

El modelo de datos raster es útil cuando se describen objetos geográficos con límites difusos, por ejemplo la dispersión de una nube de contaminantes, donde los contornos no son claros; en esos casos el modelo raster es más apropiado en su aplicación que el vectorial.

En los SIG orientados a objetos se cambia la estructura de las bases de datos geográficas; mientras los modelos de datos vectorial y raster estructuran su información mediante capas, los sistemas orientados a objetos organizan la información geográfica a partir del propio objeto geográfico y sus relaciones con otros. De este modo, los objetos geográficos están sometidos a una serie de procesos y se agrupan en clases. En la Figura 2.7 se muestra la estructura de la base de datos en forma gráfica del SIG raster.



Figura 2.7 SIG orientado a objetos²³

Los SIG orientados a objetos son dinámicos y son recomendables para situaciones en donde la naturaleza de los objetos a modelar es cambiante en el tiempo y/o en el espacio, por el contrario los modelos de datos vectoriales y raster tienen un carácter estático. Por lo tanto, los atributos temáticos de cada objeto geográfico son el resultado de aplicar unas determinadas funciones que varían según las relaciones del objeto de referencia con su entorno. La ventaja principal que permite esta estructura de datos frente al modelo vectorial y el raster, es que a partir de una serie de parámetros establecidos en el comportamiento de los objetos geográficos se puede simular su evolución futura. De este modo, los SIG son aplicados en estudios de mercado, para el manejo y prevención de desastres, en ordenamiento ecológico e impacto

²³ http://www.ccidep.gob.pe/index.php?option=com_content&task=view&id=11&Itemid=25



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

ambiental, arqueología, epidemiología y salud, estudios sociales, servicios de emergencia, en sistemas de navegación aplicados en autos, barcos y aviones.

2.3.1. SIG PARA TRANSPORTE

“Los SIG para el transporte (SIG-T) se refieren al empleo de los principios y las aplicaciones de las tecnologías de información geográfica a los problemas de transporte.”²⁴

A diferencia de los SIG básicos, estos Sistemas de Información Geográfica cuentan con las herramientas de análisis de Transporte (SIG-T) e incluyen los datos de objetos en los estudios de transporte tales como:

- Redes de transporte
- Matrices
- Rutas y sistemas de ruta
- Datos con referencias lineales

Las redes de transporte son estructuras de datos especializadas que administran los flujos sobre una red; las redes pueden incluir características como:

- Restricciones o penalización de giros
- Pasos elevados, pasos inferiores y tramos de sentido único
- Intersección y atributos de la unión
- Terminales intermodales, puntos de transferencia y funciones de retraso
- Clasificaciones de tramos
- El acceso del tráfico y su salida

Las matrices contienen datos tales como flujos origen-destino, distancias, costos, tiempos de viaje, esenciales para muchas aplicaciones de transporte como para el análisis espacial y la visualización avanzada de datos. Ver Figura 2.8

²⁴ Millar y Shaw (2001)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

	22027	35967	39477	41720	48750	50473	52158
22027	0.00	7.88	4.49	3.78	6.62	8.15	2.59
35967	7.88	0.00	7.89	7.17	10.01	11.54	7.31
39477	4.49	7.89	0.00	0.72	3.65	5.18	2.63
41720	3.78	7.17	0.72	0.00	3.39	4.91	1.92
48750	6.62	10.01	3.65	3.39	0.00	2.52	4.76
50473	8.15	11.54	5.18	4.91	2.52	0.00	6.29
52158	2.59	7.31	2.63	1.92	4.76	6.29	0.00
59887	3.79	6.16	2.45	1.73	4.57	5.83	1.87
61588	7.16	10.55	4.19	3.93	2.55	1.68	5.30
62721	6.77	9.66	3.80	3.53	3.05	2.60	4.90
63153	7.86	10.76	4.89	4.63	3.64	1.93	6.00
76333	1.81	7.05	3.76	3.05	5.89	7.42	3.19
77561	2.76	7.12	3.51	2.80	5.64	7.16	2.94
91733	6.89	8.50	5.00	4.68	5.49	5.05	4.92
96423	5.48	6.69	4.51	3.79	6.64	6.93	3.93

Figura 2.8 Matriz de distancia²⁵

Las rutas y sistemas de rutas indican caminos tomados por los camiones, ferrocarriles, automóviles, autobuses que viajan de un lugar a otro. En la Figura 2.9 se muestra un sistema de rutas para el transporte terrestre.

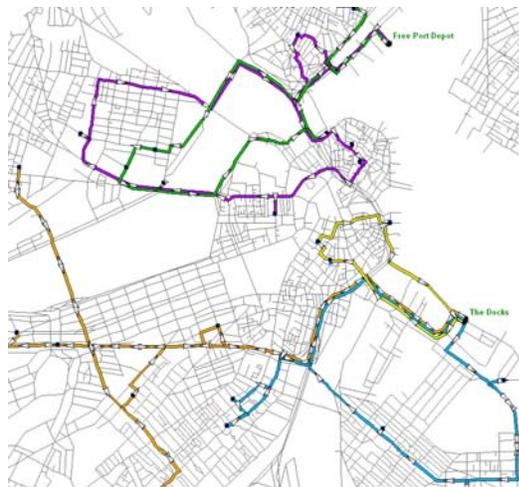


Figura 2.9 Rutas de transporte²⁶

La referencia lineal identifica la situación de rasgos de transporte, tal como la distancia de un punto fijo a lo largo de una ruta.

- Ubicación de accidentes
- Estado del pavimento de la vía
- Flujos de tráfico y datos de ocupación del transporte público

²⁵ Fuente: Elaboración propia con información del Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería de la UNAM (LTST-II-UNAM)

²⁶ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

- Infraestructura de los servicios del territorio: Son las características de funcionamiento de la infraestructura como límites de velocidad, número de vehículos por periodo de tiempo, etc

En la Figura 2.10 se muestran los datos de la infraestructura de las carreteras tales como estado del pavimento, límites de velocidad por tramo carretero, temperatura, número de accidentes, etc.

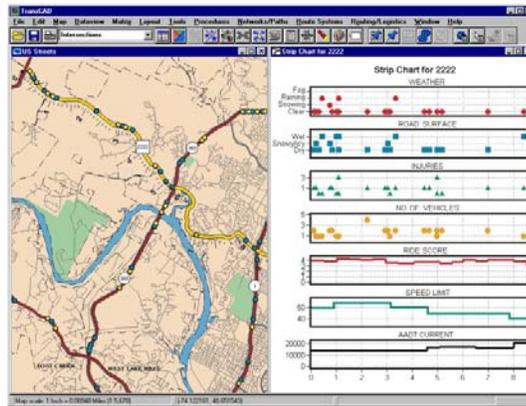


Figura 2.10 Infraestructura de los servicios del territorio²⁷

Muchos SIG-T se han aplicado en la planificación de la infraestructura, el diseño y la gestión, el análisis de la seguridad del transporte, el análisis de la demanda de viajes, la vigilancia y el control del tráfico, el transporte público y las operaciones de planificación, evaluación de impactos ambientales, la mitigación de riesgos, y en los sistemas de transporte inteligente (ITS).

Con el rápido crecimiento de Internet y las comunicaciones inalámbricas en los últimos años, son aplicaciones comunes en ITS y en servicios basados en ubicaciones específicas (LBS por sus siglas en inglés). Otra tendencia observada en los últimos años es el creciente número de aplicaciones SIG-T en el sector privado, en particular para aplicaciones de logística.

²⁷ www.caliper.com



CAPÍTULO 3: COMPONENTES DE LA MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES

Introducción

En este capítulo se presentan los componentes utilizados para generar el modelo el problema de rutas de vehículos (VRP) para la distribución de de útiles escolares gratuitos en el Distrito Federal.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La distribución y entrega de útiles escolares gratuitos en el Distrito Federal es un proceso que parte de un depósito central, que se encarga de surtir los paquetes de útiles escolares para todos los alumnos de nivel básico escolar de todas las escuelas públicas de la capital de México, y tiene como medio de distribución a vehículos de carga los que se encargan de entregar a 50 centros de distribución localizados en el DF. A estos últimos llegan los padres de familia y alumnos a recoger los paquetes de útiles que son entregados al mostrar la boleta de calificaciones del ciclo escolar anterior o el comprobante de inscripción.

Para la construcción del modelo del problema de rutas de vehículos, es importante saber qué elementos principales se necesitan y qué tipo de modelo se debe utilizar.

Por tanto lo esencial para el modelado, como se mostró en el capítulo 2, son los nodos origen y destino, además de la distancia entre ellos. El nodo origen representa al depósito de la empresa encargada de distribuir los paquetes escolares (que fue seleccionada el ciclo escolar anterior) y los nodos destino a los CD's. La distancia entre cada par de nodos está dada por la longitud de los arcos en la red vial permitida para el transporte de carga (camiones y tractocamiones) y por las vías de conexión a los CD's. También se determina la demanda total de cada CD, como elemento principal para el modelado.

Además se considera como restricción del problema, la capacidad de carga que es la capacidad de la caja del vehículo utilizado. La carga se estandariza para obtener una capacidad total en unidades de carga.

El horario de atención para todos los centros de distribución es de Lunes a Sábado de 8:00 a 16:00 hrs. El modelado del problema no considera restricciones de ventanas de tiempo, puesto que es posible entregar los paquetes de útiles que caben en un vehículo, a cualquier CD en el intervalo de tiempo mencionado.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

De lo anterior resulta que se tiene un problema de rutas de vehículos (VRP) con restricciones de capacidad y un solo depósito, es decir se tiene un problema CVRP. El objetivo es minimizar el costo de transporte, el cual depende del número de camiones y la distancia total recorrida.

A continuación se presentan los componentes principales para el proceso de modelación del problema CVRP en un SIG-T:

- Depósito central y CD's (nodos origen y destino)¹
- Red vial de transporte de carga (distancia entre nodos)
- Partición regional (área de influencia de cada centro de distribución)
- Oferta y demanda
- Características de los vehículos (capacidad de carga)

3.2. RED VIAL DE TRANSPORTE DE CARGA

La red vial de transporte de carga son los caminos interconectados a diferentes puntos de interés utilizados para el transporte de carga; para el proceso de modelado se consideran como los caminos de interconexión a la red vial de transporte de carga permitida dentro del Distrito Federal, proporcionada por el Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería-UNAM como datos espaciales en el programa TransCAD®, que es un Sistema de Información Geográfico especializado en transporte (SIG-T). Las calles de la red para este programa están representadas por un conjunto de líneas, donde los atributos de sentido, longitud, número de carriles y tiempo de viaje en cada tramo (línea), están contenidos en los datos geográficos del SIG-T.

La distancia entre cada CD y el depósito central, es calculada como la distancia mínima recorrida entre ellos a través de la red vial de transporte de carga.

¹ Los CD's y el depósito central están localizados geográficamente en el capítulo uno en la sección "Decreto de ley"



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

En la Figura 3.1 se observa la red de carga del DF y las vías de conexión a los centros de distribución, además de la localización geográfica de cada CD y del depósito.

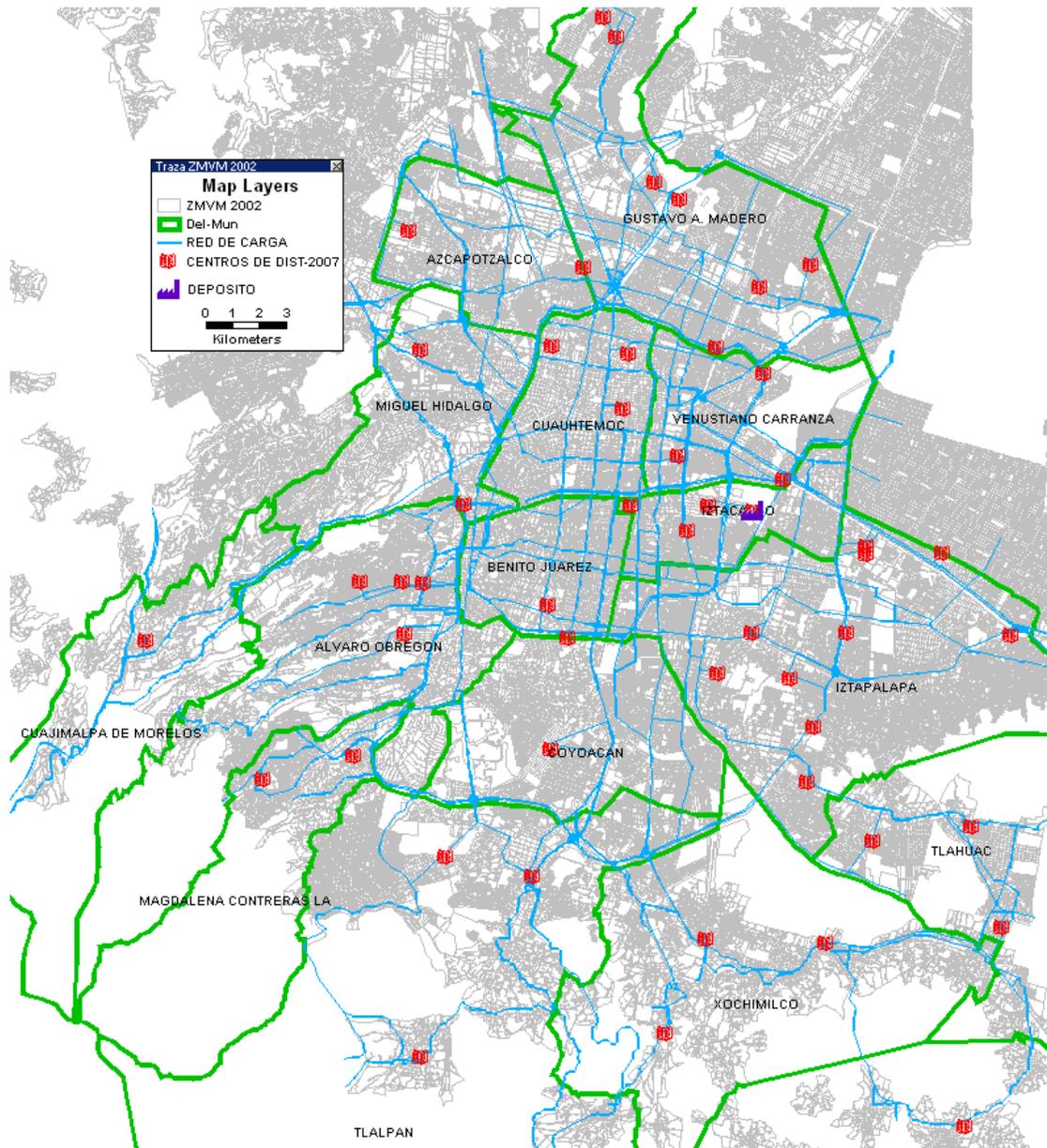


Figura 3.1 Red de carga del DF, depósito y CD's ²

² Fuente: Elaboración propia con información del Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería- UNAM (LTST-II-UNAM)



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

El atributo de sentido de circulación, se representa en TrasnCAD© mediante los valores de 0, 1 y -1, donde el primer valor corresponde a una vía de doble sentido de circulación, lo que significa que entre los dos sentidos no hay un límite físico como una acera en medio de una avenida; y para los dos siguientes valores, el sentido de circulación es representado por una flecha a la mitad de cada sección, como se muestra en la Figura 3.2 (se considera 1 cuando la línea es trazada igual al sentido de circulación y -1 cuando es lo opuesto).

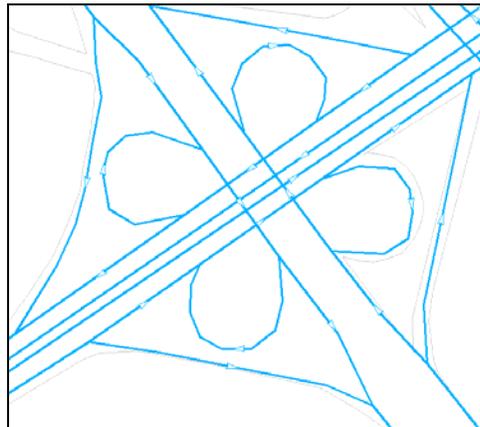


Figura 3.2 Atributo de sentido en forma gráfica ³

El tiempo se obtuvo a partir de la expresión

$$v = d / t \quad (3.1)$$

Donde

v = velocidad en kilómetros por hora

d = distancia o longitud de cada tramo en kilómetros

t = tiempo en horas

Los tiempos en cada tramo vehicular fueron obtenidos considerando una velocidad promedio de 30 kilómetros/hora. En la Figura 3.3 se observan los atributos de longitud, sentido y tiempo (length, Dir y time, escritas en inglés, respectivamente)

³ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

ID	Length	Dir	Carriles	NOMBRE	TIME
72	0.31	1	5.000000	Azúcar	0.01
132	0.70	0	3.000000	Av. Constituyentes	0.02
2120	0.21	1	2.000000	Canario	0.01
2125	0.22	1	2.000000	Viaducto Presidente Miguel Alemán	0.01
2283	0.25	1	2.000000	Adolfo López Mateos	0.01
2812	0.15	1	2.000000	Adolfo López Mateos	0.01

Figura 3.3 Algunos atributos de la red ⁴

3.3. PARTICIÓN REGIONAL

La partición regional es el área de influencia de cada centro de distribución dentro de cada Delegación. Ésta se obtiene de la información del número de alumnos de educación básica que habitan dentro de cada área geoestadística básica (AGEB) en la región de influencia de cada CD, es decir en las áreas más cercanas donde habitan los alumnos del nivel básico de todas las escuelas públicas del Distrito Federal.

Para la asignación de las AGEB's a los centros de distribución más cercanos se utilizó la herramienta de TransCAD®, que facilita realizar la asignación de las área de influencia en tantas partes como se necesiten y con ciertas condiciones de balance. En primer lugar se debe tener en cuenta que para fines de distribución, se necesita asignar las AGEB's por Delegación.

Se presenta el ejemplo de la asignación de las AGEB's a cada CD en la delegación Cuauhtemoc. En la Figura 3.4 se muestra el área de la delegación y las AGEB's que contienen a los centros de distribución.

⁴ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

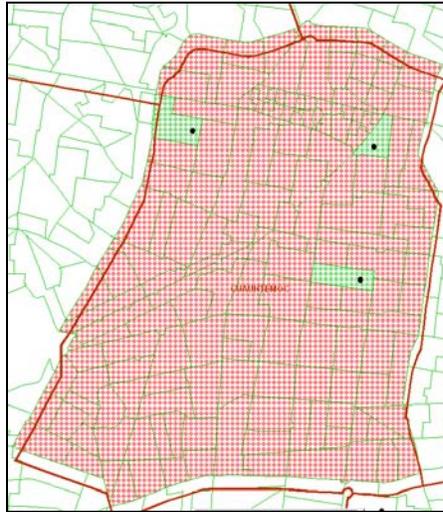


Figura 3.4 Selección de la delegación Cuauhtemoc ⁵

Una vez seleccionadas las AGEBS de la delegación, se procede a realizar la matriz de adyacencia, que es una matriz que asigna un número uno a las áreas seleccionadas que se encuentran adyacentes entre sí, y si es el caso contrario, no se registra ningún valor. En la Figura 3.5 se muestra la matriz para Cuauhtemoc.

Matrix1 - Adyacencia of Matricula (preescola:5 (Adyacencia))									
	133	134	135	136	137	138	139	140	141
133	--	--	--	--	--	--	1.00	--	--
134	--	--	--	--	--	--	--	--	--
135	--	--	--	1.00	1.00	1.00	--	--	--
136	--	--	1.00	--	1.00	--	--	--	1.00
137	--	--	1.00	1.00	--	--	--	1.00	1.00
138	--	--	1.00	--	--	--	1.00	1.00	--
139	1.00	--	--	--	--	1.00	--	--	--
140	--	--	--	--	1.00	1.00	--	--	--
141	--	--	--	1.00	1.00	--	--	--	--
142	--	--	--	--	1.00	--	--	--	1.00
143	--	--	--	--	1.00	--	--	--	--
144	--	--	--	--	--	--	--	--	1.00
145	--	--	--	--	--	--	--	--	1.00
146	--	--	--	--	--	--	--	--	1.00
147	--	--	--	--	--	--	--	--	1.00
148	1.00	--	--	--	--	--	1.00	--	--
149	--	--	--	--	--	1.00	1.00	1.00	--

Figura 3.5 Matriz de adyacencia ⁶

Se prosigue a realizar la partición regional, tomando en cuenta la condición de balance; en este caso interesa que los centros de distribución tengan la misma carga de trabajo, lo que se consigue teniendo la misma demanda de paquetes escolares por cada CD. En la Figura 3.6

⁵ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM
⁶ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

se observa la ventana con los parámetros necesarios para la asignación de las áreas y se considera como la condición de balance el total de alumnos que viven dentro de las AGEB's.

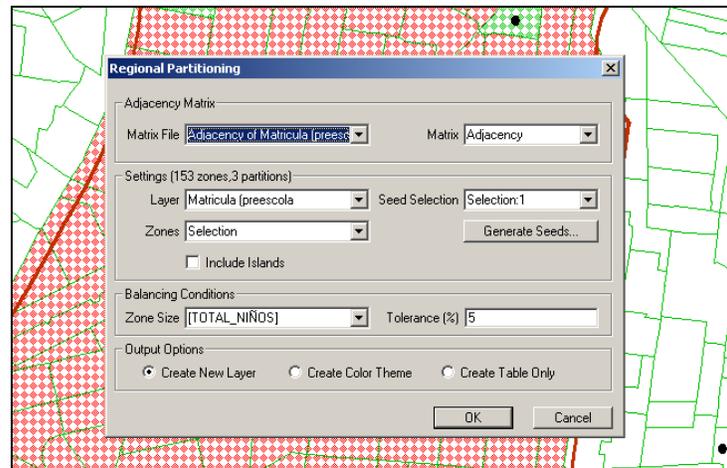


Figura 3.6 Ventana de la partición regional ⁷

Se obtiene entonces la partición en tres zonas que son las zonas de influencia de los CD's en la Delegación. En la Figura 3.7 se muestra la asignación de las AGEB's a cada CD, tomando en cuenta el balance de la cantidad de niños a atender.

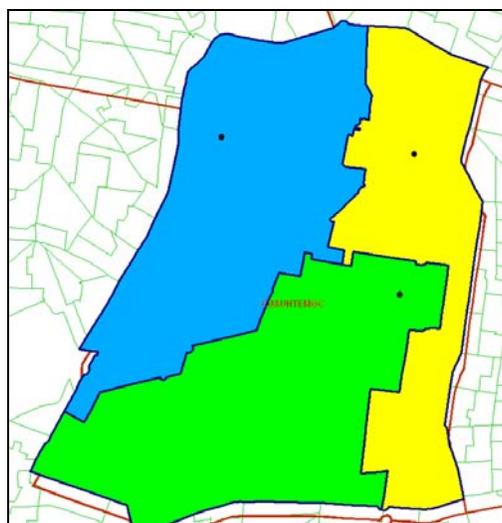


Figura 3.7 Asignación por CD ⁸

⁷ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM

⁸ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Para este caso se tiene que el CD número 12 (color azul) tiene una demanda de 23,780 alumnos, el 10 (color amarillo) tiene una demanda de 25,702 y el 11 (color verde) de 25,440 niños.

3.4. OFERTA Y DEMANDA

La oferta de los paquetes de útiles escolares es igual al total de alumnos de las escuelas públicas del Distrito Federal. La empresa “Distribuidora Gardi S.A. de C.V.” fue la encargada de distribuirlos a cada centro de distribución en el ciclo escolar anterior⁹.

Para determinar la cantidad de paquetes de útiles escolares, se tomó el total de alumnos para todos los niveles y grados de educación en el DF, lo que representó un total de 1, 373, 371 paquetes.

Se estandarizó el tipo de carga y se propuso como unidad de carga, una caja de cartón que contenía el conjunto de artículos de cada paquete escolar. Para tal efecto se consideró una caja con las dimensiones siguientes:

Largo = 50 cm

Ancho= 33 cm

Alto = 23 cm

Se tomaron como base la libreta profesional, y el paquete escolar para alumnos de 5° y 6° grado de primaria, por ser de los más completos y voluminosos. En la Figura 3.8 se muestra el paquete escolar contenido en una bolsa de polietileno.

⁹ <<http://www.sds.df.gob.mx/archivo/oip/2007/contratos2007.pdf>> [consulta: 15/05/2008]



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL



Figura 3.8 Paquete escolar

Una vez que se construyó una caja con las dimensiones mencionadas, se prosiguió a armar los paquetes escolares y a acomodarlos en ésta; se obtuvo un total de seis paquetes escolares acomodados y un peso de 17 kilogramos por caja. En la Figura 3.9 se observa el acomodo de los paquetes escolares.



Figura 3.9 Caja con paquetes escolares

Una vez que se obtuvo la unidad de carga, se prosiguió a determinar la oferta y la demanda en unidades de carga. Para la oferta total de 1, 373, 371 paquetes escolares (que es el número de alumnos en el DF), se obtuvieron un total de 228, 895 unidades de carga o cajas con una capacidad de seis paquetes escolares en cada una, como se muestra a continuación:



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

$$\text{Oferta} = \frac{1,373,371}{6} = 228,895 \text{ cajas o unidades de carga}$$

La demanda de cada CD se determinó en la sección “Partición regional”. Para obtener la oferta y la demanda en las mismas unidades, la demanda de cada CD se dividió entre seis, que es el número de paquetes por cada caja. Se obtuvo como resultado una distribución de la demanda como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Demanda por CD

DELEGACIÓN	CD	DEMANDA	# CAJAS
ALVARO OBREGON	1	23,494	3,916
	2	25,306	4,218
	3	23,446	3,908
	4	25,034	4,172
AZCAPOTZALCO	5	33,589	5,598
	6	34,466	5,744
BENITO JUAREZ	7	32,915	5,486
COYOACAN	8	42,617	7,103
	9	38,734	6,456
CUAUHTEMOC	10	25,702	4,284
	11	25,440	4,240
	12	23,780	3,963
CUAJIMALPA	13	29,118	4,853
GUSTAVO A MADERO	14	29,479	4,913
	15	28,341	4,724
	16	28,712	4,785
	17	28,904	4,817
	18	29,296	4,883
	19	27,645	4,608
	20	27,535	4,589
IZTACALCO	21	23,788	3,965
	22	22,803	3,801
	23	24,717	4,120
IZTAPALAPA	24	32,057	5,343
	25	30,998	5,166
	26	31,535	5,256
	27	31,794	5,299
	28	30,544	5,091
	29	30,659	5,110
	30	29,611	4,935
	31	29,938	4,990
	32	30,568	5,095



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

	33	32,101	5,350
MAGDALENA CONTRERAS	34	19,498	3,250
	35	19,668	3,278
MIGHEL HIDALGO	36	22,894	3,816
	37	23,571	3,929
MILPA ALTA	38	24,401	4,067
TLAHUAC	39	23,073	3,846
	40	21,853	3,642
	41	22,617	3,770
TLALPAN	42	27,265	4,544
	43	29,275	4,879
	44	28,754	4,792
VENUSTIANO CARRANZA	45	25,412	4,235
	46	23,717	3,953
	47	23,686	3,948
XOCHIMILCO	48	25,451	4,242
	49	24,352	4,059
	50	23,218	3,870
TOTAL		1,373,371	228,895

3.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS

Los tipos de vehículos de carga que se propusieron para la distribución de los paquetes de útiles son camiones C2 (ver apéndice B, Tabla B.1) con dimensiones de caja mostrados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Tipos de camión y dimensiones

CAMION	TIPO	CAPACIDAD EN PESO	LARGO	ANCHO	ALTO	ARRASTRE DE REMOLQUES
1	THORTON	HASTA 15 TON	22 A 23 PIES	98 PULGADAS	90 PULGADAS	CAJA CERRADA SECA
2	RABÓN	HASTA 10 TON	22 A 23 PIES	96 PULGADAS	90 PULGADAS	CAJA CERRADA SECA
3	5 TONELADAS	HASTA 5 TON	15 A 16 PIES	96 PULGADAS	75 PULGADAS	CAJA CERRADA SECA

Para el modelado del problema se consideró utilizar un camión tipo Rabón con un largo de 22 pies, 96 pulgadas de ancho y 90 de alto, con caja cerrada seca. Y para el acomodo de cajas dentro del camión se propuso utilizar una tarima estándar de 1.00 por 1.20 metros.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

El total de tarimas que puede contener el camión se obtuvo como sigue:

$$\text{Largo del camión} = 22 \text{ ft} * \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 670 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho del camión} = 96 \text{ in} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 244 \text{ cm}$$

$$\text{Número de tarimas a lo ancho del camión} = \frac{244 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 2$$

$$\text{Número de tarimas a lo largo del camión} = \frac{670 \text{ cm}}{120 \text{ cm}} = 5$$

De aquí que se tiene un acomodo a lo ancho del camión de dos tarimas y a lo largo de cinco, teniendo un total de diez tarimas por camión. En la Figura 3.10 se muestra un esquema del acomodo de las tarimas dentro de la superficie de la caja del camión.

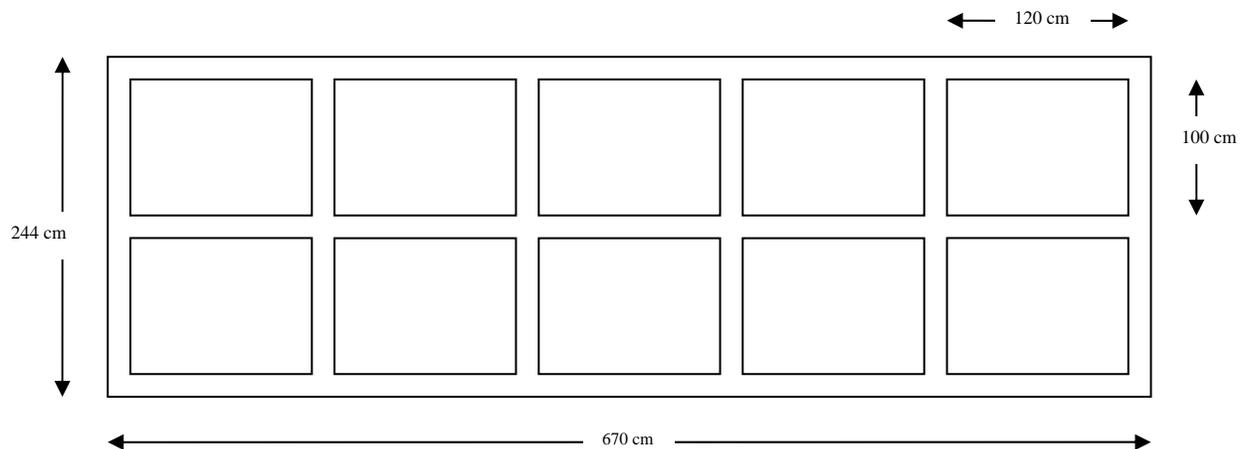


Figura 3.10 Caja del camión con tarimas

El número de estibas por camión y la resistencia a la compresión de cada caja de cartón con las características que el díptico de Estibamax® menciona (ver Apéndice A), se obtuvo como sigue:



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

1. Cálculo de la resistencia a la compresión de una caja de cartón:

$$L = 50$$

$$A = 33$$

$$H = 23$$

$$C = 3.576(L + A) + 2.45(H) - 9.1$$

$$C = 3.576(50 + 33) + 2.45(23) - 9.1 = 344 \text{ Kg}$$

2. Cálculo de la estiba máxima: $P = 17 \text{ Kg}$; $EM = \frac{344}{17} = 20 \text{ cajas}$

3. Cálculo de la altura máxima de la estiba: $Altura = 23 * 20 = 460 \text{ cm}$

4. Cálculo de la altura disponible por estiba: $ADT = 120 - 14 = 106 \text{ cm}$

5. Cálculo del número de camas por tarima: $NC = \frac{106}{23} = 4 \text{ camas}$

6. Cálculo de la altura de cada estiba: $AE = (NC * H) + 14 = 4 * 23 + 14 = 106 \text{ cm}$

7. Cálculo de la altura a 2 estibas: $A2E = 106 * 2 = 212 \text{ cm}$

La altura a dos estibas se realizó tomando en consideración la altura de la caja del camión, obteniendo un total de 20 estibas por camión.

Una vez realizados los cálculos de la resistencia a la compresión de cada caja con producto, se prosiguió a determinar el acomodo de las cajas por tarima, con base en el modelo de acomodo en tarima estándar del Apéndice A, como se describe a continuación.

Para un largo de la caja de 500 mm y un ancho de 330 mm se tiene un acomodo de siete cajas por tarima, quedando el acomodo como en la Figura 3.11.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

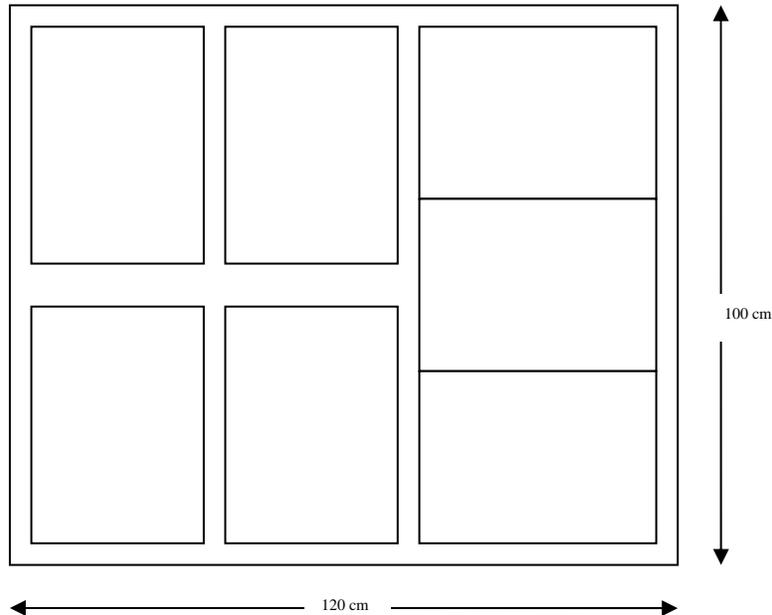


Figura 3.11 Acomodo de cajas en tarima estándar

La eficiencia del área ocupada por las cajas es:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Área ocupada}}{\text{Área total}} = \frac{(\text{área por caja})(\text{número de cajas})}{\text{Área total}} = \frac{(50 * 33)(7)}{120 * 100} = 96.25 \%$$

La capacidad total de cada vehículo es:

$$\text{Capacidad Total} = (\text{estibas})(\text{camas por estiba})(\text{cajas por cama}) = \text{cajas por camión}$$

$$\text{Capacidad Total} = 20 * 4 * 7 = 560 \text{ cajas por camión}$$

La capacidad total para un camión tipo Rabón son 560 unidades de carga con un acomodo de 20 estibas dentro de la caja y un acomodo de 7 cajas sobre la superficie de cada tarima.



CAPÍTULO 4: DETERMINACIÓN DE RUTAS DE VEHÍCULOS

Introducción

En este capítulo se modelan tres escenarios propuestos con un tiempo de entrega menor a cuatro semanas con la finalidad de reducir costos para el proceso de entrega y distribución de los paquetes de útiles escolares, también se crea un itinerario de cada ruta para abastecer los CD's, además se evalúan los tres escenarios para poder escoger la mejor opción.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Para reducir el costo asociado a la distribución y entrega de los útiles escolares gratuitos para los alumnos del DF, se proponen tres diferentes escenarios con un menor tiempo de entrega al actual, con el fin de reducir el costo fijo generado por la operación de los centros de distribución.

4.1. ESCENARIO 1

El primer escenario parte del supuesto de tener tres semanas para realizar la entrega, con un intervalo de tiempo de 8:00 a 16:00 horas de Lunes a Sábado, teniendo 18 días hábiles en total.

Por ejemplo la demanda diaria del centro de distribución uno (CD-1) de la delegación Álvaro Obregón se obtiene como sigue:

$$\text{Demanda diaria} = \frac{\text{Demanda Total}}{18 \text{ días}} = \frac{3,916}{18} = 218 \text{ cajas diarias}$$

Con el mismo procedimiento se generan las demandas diarias para todos los centros de distribución. En la Tabla 4.1 se muestra la demanda de los CD's, para un lapso de entrega de 18 días.

Tabla 4.1 Demanda diaria

DELEGACIÓN	CD	DEMANDA	# CAJAS	DEMANDA DIARIA
ÁLVARO OBREGÓN	1	23,494	3,916	218
	2	25,306	4,218	235
	3	23,446	3,908	218
	4	25,034	4,172	232
AZCAPOTZALCO	5	33,589	5,598	312
	6	34,466	5,744	320
BENITO JUAREZ	7	32,915	5,486	305
COYOACAN	8	42,617	7,103	395
	9	38,734	6,456	359
CUAUHTEMOC	10	25,702	4,284	238
	11	25,440	4,240	236



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

	12	23,780	3,963	221
CUAJIMALPA	13	29,118	4,853	270
GUSTAVO A MADERO	14	29,479	4,913	273
	15	28,341	4,724	263
	16	28,712	4,785	266
	17	28,904	4,817	268
	18	29,296	4,883	272
	19	27,645	4,608	256
	20	27,535	4,589	255
IZTACALCO	21	23,788	3,965	221
	22	22,803	3,801	212
	23	24,717	4,120	229
IZTAPALAPA	24	32,057	5,343	297
	25	30,998	5,166	288
	26	31,535	5,256	292
	27	31,794	5,299	295
	28	30,544	5,091	283
	29	30,659	5,110	284
	30	29,611	4,935	275
	31	29,938	4,990	278
	32	30,568	5,095	284
	33	32,101	5,350	298
MAGDALENA CONTRERAS	34	19,498	3,250	181
	35	19,668	3,278	183
MIGHEL HIDALGO	36	22,894	3,816	212
	37	23,571	3,929	219
MILPA ALTA	38	24,401	4,067	226
TLAHUAC	39	23,073	3,846	214
	40	21,853	3,642	203
	41	22,617	3,770	210
TLALPAN	42	27,265	4,544	253
	43	29,275	4,879	272
	44	28,754	4,792	267
VENUSTIANO CARRANZA	45	25,412	4,235	236
	46	23,717	3,953	220
	47	23,686	3,948	220
XOCHIMILCO	48	25,451	4,242	236
	49	24,352	4,059	226
	50	23,218	3,870	215

Después de establecer la demanda diaria, se determina la matriz de rutas de vehículos, que contiene la distancia o tiempo de viaje entre cada CD's y el depósito, tomando como criterio de optimización la distancia y como base la red de transporte carga. En la Figura 4.1 se muestra la herramienta de TransCAD© utilizada para obtener la matriz de rutas de vehículos.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

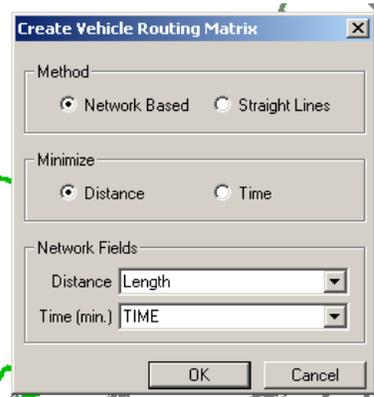


Figura 4.1 Herramienta de TransCAD© para generar la matriz de rutas de vehículos ⁵⁵

Se obtiene una matriz cuadrada de 51 por 51, por los 50 CD y un depósito, que contiene la distancia entre cada par de puntos. En la diagonal los valores son cero por tratarse del tiempo de traslado o distancia de un nodo hacia sí mismo. En la Figura 4.2 se muestra la matriz.

	14026	14027	14028	14029	14030	14031	14032
14026	0.00	7.42	20.56	10.45	11.59	18.11	22.26
14027	29.69	0.00	39.50	29.39	30.53	37.04	40.93
14028	18.85	18.37	0.00	13.06	16.74	21.42	25.90
14029	12.32	11.84	16.08	0.00	4.14	8.82	23.56
14030	12.09	11.61	14.66	6.31	0.00	6.66	23.33
14031	18.88	18.40	21.26	13.11	7.00	0.00	30.12
14032	44.64	45.99	52.24	47.14	48.27	54.79	0.00
14033	18.10	17.62	4.52	12.08	15.76	20.44	25.15
14034	20.32	19.84	6.75	14.31	15.66	20.34	27.38
14035	16.27	15.80	6.81	13.72	16.40	22.09	23.33
14036	25.01	24.53	8.57	18.99	19.29	23.96	32.06

Figura 4.2 Matriz de rutas de vehículos ⁵⁶

Para determinar la tabla de vehículos se consideran los atributos del tipo de vehículo, capacidad, número de vehículos y el costo asociado a cada uno. Para crear la tabla de vehículos se propone un tipo de vehículo que es un Rabón de 10 toneladas, la capacidad es de 560 cajas o unidades de carga, y se propone de inicio una flota de 50 vehículos para asegurar que cada CD sea surtido. En la Figura 4.3 se muestran los atributos de la tabla de vehículos.

⁵⁵ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM

⁵⁶ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

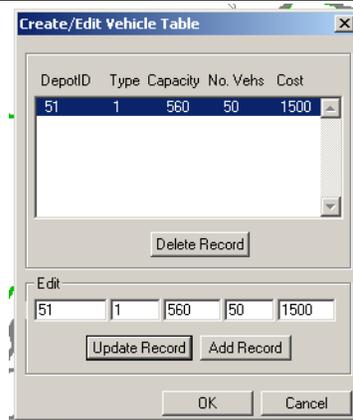


Figura 4.3 Tabla de vehículos ⁵⁷

Después de determinar los criterios de oferta, demanda, tipo de vehículo, unidad de carga y capacidad de carga, se determinó el tipo de modelo, que en este caso es de entregas con restricciones de capacidad y sin un intervalo de tiempo de entrega para los CD's.

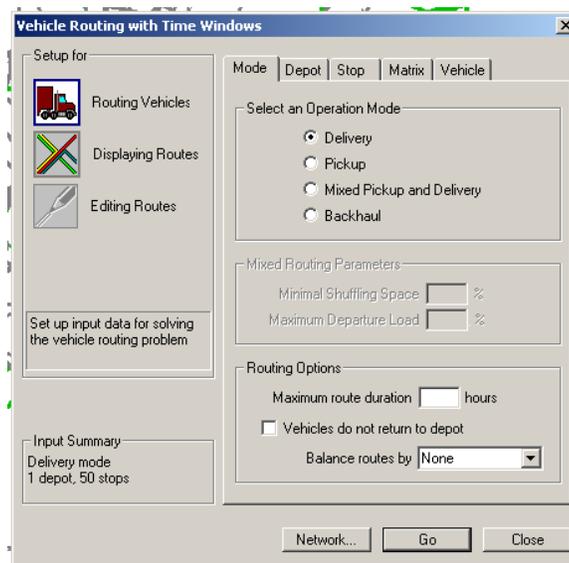


Figura 4.4 Ventana del tipo de VRP ⁵⁸

El resultado de resolver el modelo de rutas de vehículos para 18 días de entrega es un total de 26 rutas de entrega, lo que indica que el número mínimo de vehículos para este escenario son 26 camiones y un total de viajes igual a:

⁵⁷ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM

⁵⁸ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

*Viajes Totales = número de rutas * total de días = 26 * 18 = 468 viajes totales*

En la Tabla 4.2 se muestra el número de rutas, las paradas en los CD's, la secuencia de las paradas, la distancia total y la carga total de cada una de las rutas. Donde la parada cero (0) representa el depósito y las paradas del uno al 50 representan los CD's.

Tabla 4.2 Itinerario de las rutas para la distribución en 18 días

RUTA	PARADA	SECUENCIA	DISTANCIA (Km)	DIST_TOTAL (Km)	ENTREGA	CARGA_TOTAL
1	0	0		0,00		441
1	38	1	34,93	34,93	226	215
1	50	2	10,93	45,86	215	0
1	0	3	24,59	70,45		0
2	0	0		0,00		523
2	42	1	33,16	33,16	252	271
2	43	2	16,42	49,58	271	0
2	0	3	23,83	73,41		0
3	0	0		0,00		488
3	37	1	15,14	15,14	218	270
3	13	2	18,58	33,72	270	0
3	0	3	53,83	87,55		0
4	0	0		0,00		363
4	34	1	27,22	27,22	181	182
4	35	2	4,16	31,39	182	0
4	0	3	24,12	55,51		0
5	0	0		0,00		462
5	49	1	26,24	26,24	226	236
5	48	2	9,76	36,00	236	0
5	0	3	19,82	55,82		0
6	0	0		0,00		411
6	41	1	25,79	25,79	209	202
6	40	2	4,98	30,77	202	0
6	0	3	21,19	51,96		0
7	0	0		0,00		511
7	19	1	24,80	24,80	256	255
7	20	2	1,19	25,99	255	0
7	0	3	24,54	50,53		0
8	0	0		0,00		531
8	6	1	24,12	24,12	319	212
8	36	2	9,63	33,75	212	0
8	0	3	20,32	54,07		0
9	0	0		0,00		501



**PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES
ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL**

9	25	1	15,64	15,64	287	214
9	39	2	4,11	19,75	214	0
9	0	3	21,24	40,99		0
10	0	0		0,00		500
10	2	1	17,87	17,87	234	266
10	44	2	32,02	49,89	266	0
10	0	3	19,20	69,09		0
11	0	0		0,00		450
11	4	1	16,36	16,36	232	218
11	1	2	2,36	18,72	218	0
11	0	3	18,77	37,49		0
12	0	0		0,00		534
12	16	1	15,26	15,26	266	268
12	17	2	2,32	17,59	268	0
12	0	3	18,28	35,87		0
13	0	0		0,00		359
13	9	1	15,15	15,15	359	0
13	0	2	14,62	29,77		0
14	0	0		0,00		522
14	3	1	15,14	15,14	217	305
14	7	2	7,16	22,30	305	0
14	0	3	11,80	34,10		0
15	0	0		0,00		531
15	5	1	13,79	13,79	311	220
15	12	2	6,28	20,06	220	0
15	0	3	16,17	36,24		0
16	0	0		0,00		535
16	14	1	12,77	12,77	273	262
16	15	2	3,96	16,73	262	0
16	0	3	15,83	32,55		0
17	0	0		0,00		503
17	22	1	6,16	6,16	211	292
17	26	2	12,27	18,43	292	0
17	0	3	12,98	31,42		0
18	0	0		0,00		526
18	23	1	6,28	6,28	229	297
18	33	2	15,83	22,10	297	0
18	0	3	13,05	35,16		0
19	0	0		0,00		558
19	30	1	6,18	6,18	274	284
19	29	2	6,70	12,88	284	0
19	0	3	9,27	22,15		0
20	0	0		0,00		560
20	31	1	6,77	6,77	277	283
20	32	2	5,43	12,19	283	0
20	0	3	9,00	21,20		0
21	0	0		0,00		474



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

21	11	1	11,15	11,15	236	238
21	10	2	3,34	14,49	238	0
21	0	3	14,56	29,05		0
22	0	0		0,00		395
22	8	1	10,46	10,46	395	0
22	0	2	10,15	20,62		0
23	0	0		0,00		502
23	47	1	6,37	6,37	219	283
23	28	2	12,15	18,52	283	0
23	0	3	10,12	28,64		0
24	0	0		0,00		517
24	21	1	6,53	6,53	220	297
24	24	2	9,13	15,67	297	0
24	0	3	8,44	24,10		0
25	0	0		0,00		514
25	46	1	6,14	6,14	220	294
25	27	2	14,82	20,96	294	0
25	0	3	7,93	28,89		0
26	0	0		0,00		506
26	18	1	8,60	8,60	271	235
26	45	2	8,05	16,65	235	0
26	0	3	2,63	19,28		0

Además de generar el itinerario para cada vehículo donde se muestra la demanda total a entregar por CD, distancia total por ruta y secuencia de entrega de cada camión, se genera de forma gráfica la ruta de cada camión donde se muestra el CD a atender y el camino usado para llegar a éste. En la Figura 4.5 se muestran las rutas de los camiones en forma gráfica.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

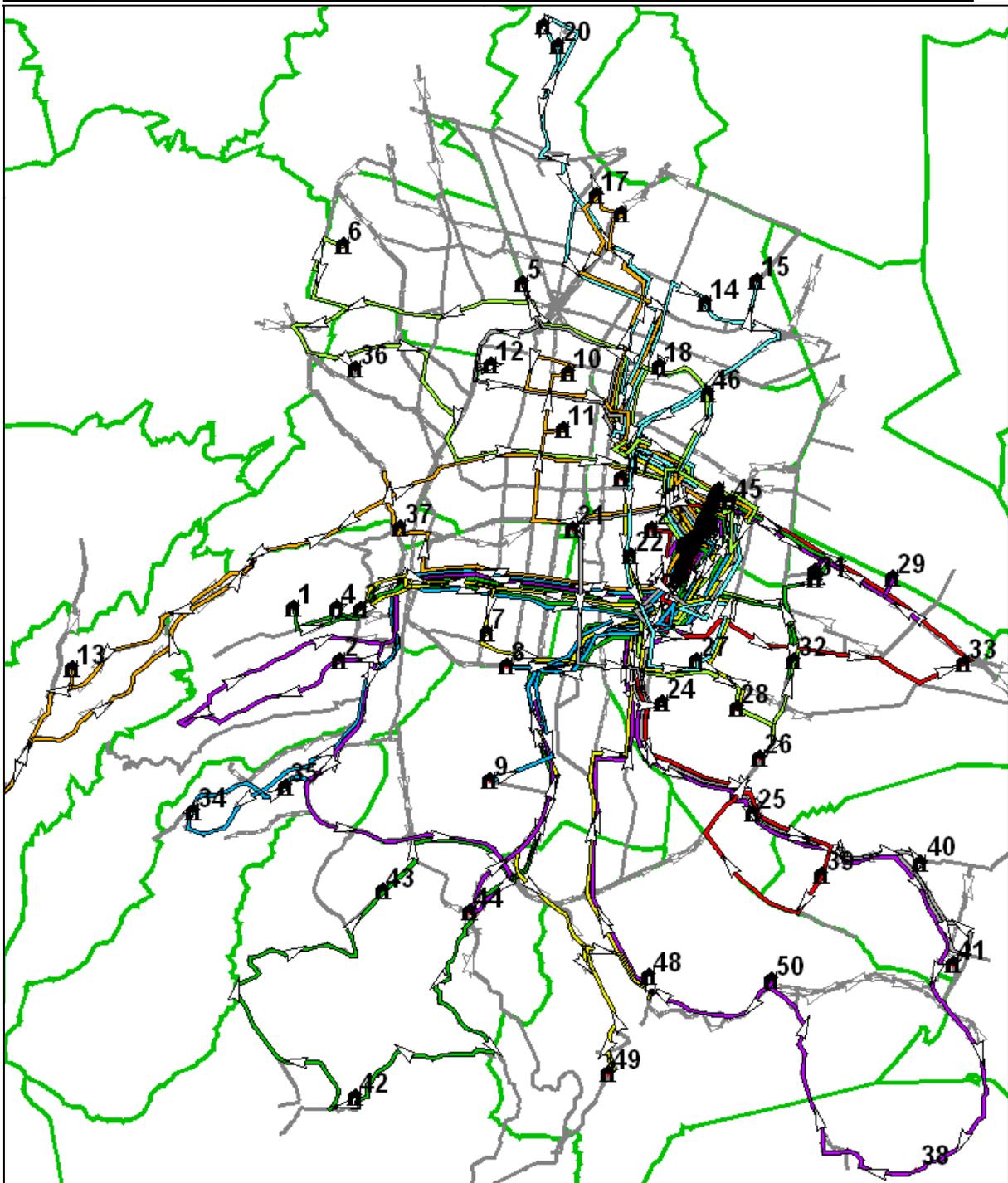


Figura 4.5 Rutas de vehículos en forma gráfica⁵⁹

⁵⁹ Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

En la Figura 4.6 se muestran las rutas 20 (rojo) y 24 (azul), así como su sentido de circulación y las vías por donde debe de pasar.

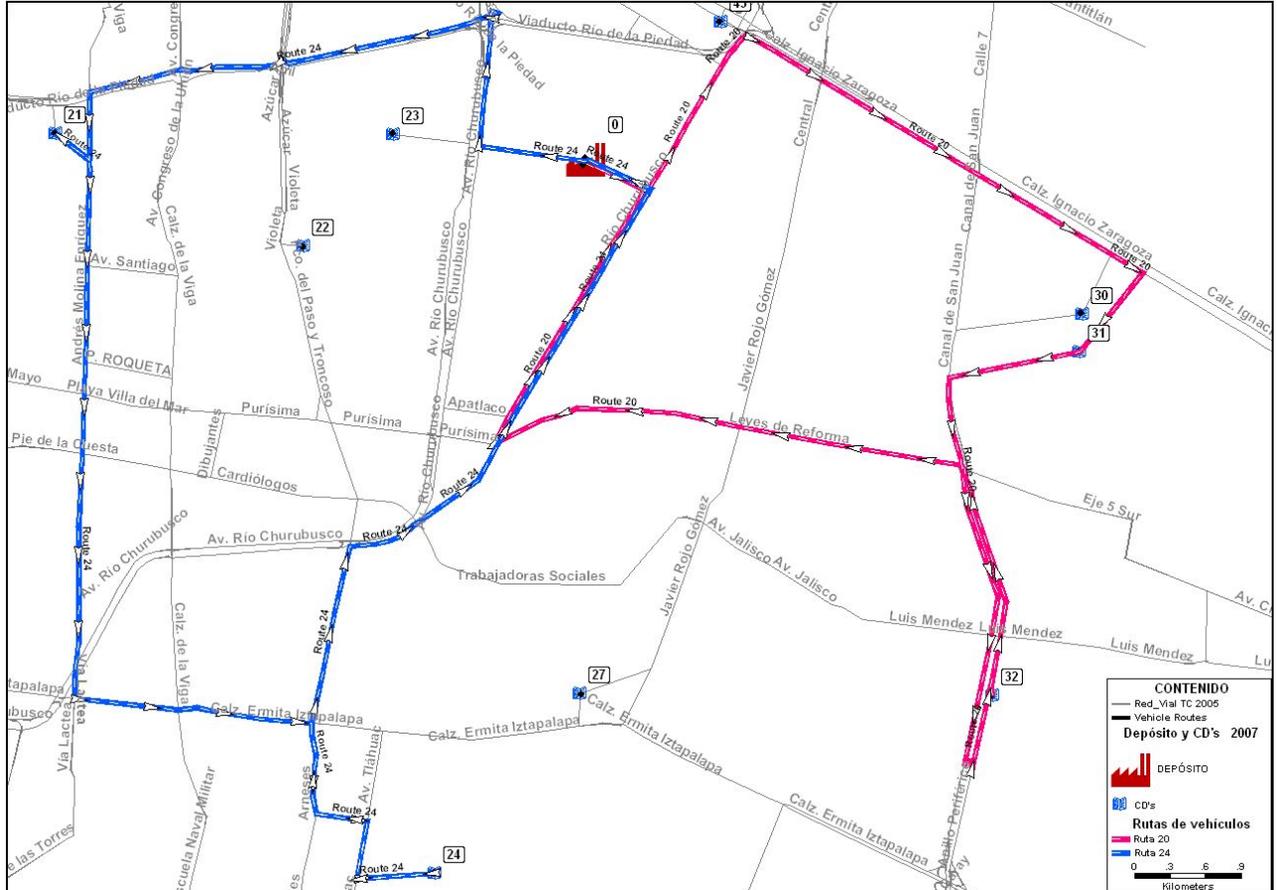


Figura 4.6 Rutas de vehículos 20 y 24

4.2. ESCENARIO 2

Para la determinación del segundo escenario se hace un supuesto de un tiempo máximo de entrega de dos semanas y con un total de 12 días hábiles de entrega.

La demanda diaria del CD número ocho (CD-8) de la delegación Coyoacán que es el de mayor demanda para el DF se obtiene como sigue:



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

$$\text{Demanda diaria} = \frac{\text{Demanda Total}}{12 \text{ días}} = \frac{7,103}{12} = 592 \text{ cajas diarias}$$

La demanda es superior a la capacidad de los vehículos, por lo tanto se debe de considerar un lapso de entrega mayor a 12 días, teniendo así un periodo de entrega de 13 días con una demanda igual a:

$$\text{Demanda diaria} = \frac{\text{Demanda Total}}{13 \text{ días}} = \frac{7,103}{13} = 546 \text{ cajas diarias}$$

Y al realizar el mismo procedimiento que para el escenario uno, el resultado de realizar el modelo para repartir los útiles escolares durante un periodo de 13 días es un total de 48 rutas teniendo así un máximo de 48 camiones para su transporte y un total de viajes igual a:

$$\text{Viajes Totales} = \text{número de rutas} * \text{total de días} = 48 * 13 = 624 \text{ viajes totales}$$

En la Tabla 4.3 se muestran las rutas con el total de la distancia que recorren al día y la entrega diaria de cada vehículo de carga para 13 días de distribución.

Tabla 4.3 Distancia total por rutas para 13 días

RUTA	DISTANCIA (Km)	ENTREGA	RUTA	DISTANCIA (Km)	ENTREGA
1	69,69	313	26	30,8	363
2	66,37	350	27	29,31	431
3	79,71	548	28	26,74	404
4	83,18	373	29	26,91	378
5	51,85	312	30	25,42	412
6	51,29	290	31	23,32	422
7	45,27	326	32	21,04	393
8	49,4	353	33	20,39	392
9	50,16	354	34	23,86	326
10	47,99	375	35	20,61	546
11	48,7	442	36	20,86	392
12	43,37	280	37	24,72	330
13	42,26	294	38	17,21	411
14	40,72	296	39	16,48	408
15	38,68	369	40	19,09	376
16	56,33	553	41	13,11	292



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

17	55,19	324	42	15,61	384
18	36,12	321	43	14,28	305
19	40,99	397	44	15,97	304
20	34,41	371	45	14,12	317
21	29,77	497	46	15,36	380
22	34,21	302	47	16,86	304
23	30,83	301	48	5,15	326
24	31,78	305	TOTAL/D*	1648,54	17610
25	33,05	368	TOTAL/P**	21431,02	228930

* Total por día

** Total por periodo

4.3. ESCENARIO 3

Para determinar el tercer escenario se parte del supuesto de un tiempo máximo de entrega de 23 días hábiles para la entrega de los paquetes de útiles escolares.

La demanda diaria para el CD número 34 (CD-34) de la delegación La Magdalena Contreras, que es la menor demanda dentro de DF, se obtiene:

$$\text{Demanda diaria} = \frac{\text{Demanda Total}}{23 \text{ días}} = \frac{3,250}{23} = 141 \text{ cajas diarias}$$

Al realizar el mismo procedimiento que en el escenario uno, para el modelo de rutas de vehículos, se tiene un total de 20 rutas con un máximo de 20 camiones para su transporte y un total de viajes igual:

$$\text{Viajes Totales} = \text{número de rutas} * \text{total de días} = 20 * 23 = 460 \text{ viajes totales}$$

En la Tabla 4.4 se muestran las rutas con el total de la distancia que recorren al día y la entrega diaria de cada vehículo de carga para un periodo de entrega de 23 días.

Tabla 4.4 Distancia total por rutas para 23 días

RUTA	DISTANCIA (Km)	ENTREGA	RUTA	DISTANCIA (Km)	ENTREGA
1	70,59	507	12	32,56	418
2	89,32	550	13	26,76	449



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

3	101,02	546	14	26,61	454
4	77,07	502	15	25,73	546
5	50,53	399	16	23,29	451
6	50,17	492	17	48,69	555
7	62,08	560	18	23,93	554
8	41,84	488	19	16,72	430
9	63,31	534	20	23,84	535
10	35,86	417	TOTAL/D*	926,56	9929
11	36,64	542	TOTAL/P**	21310,88	228367

* Total por día

** Total por periodo

4.4. EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS

Para la evaluación de los escenarios de distribución de los útiles escolares, se consideran el periodo de entrega y los costos asociados. En la Tabla 4.5 se muestra la relación entre el número de días de entrega a lo largo del periodo y las rutas generadas por día, permitiendo observar el comportamiento del total de viajes generados. La tabla se genera a partir del mínimo periodo de entrega, que es de 13 días, al considerar la restricción de capacidad de los vehículos de carga; los renglones marcados en gris representan los escenarios a evaluar.

Tabla 4.5 Viajes por día

DÍAS	RUTAS AL DÍA	TOTAL DE VIAJES
13	48	624
14	43	602
15	36	540
16	33	528
17	29	493
18	26	468
19	25	475
20	24	480
21	23	483
22	22	484
23	20	460
24	20	480
25	19	475

En la Figura 4.7 se muestra una gráfica tabulada entre días de entrega y el total de viajes, los dos puntos mínimos de ésta indican el total de viajes mínimos generados para periodos de entrega de 18 y 23 días.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

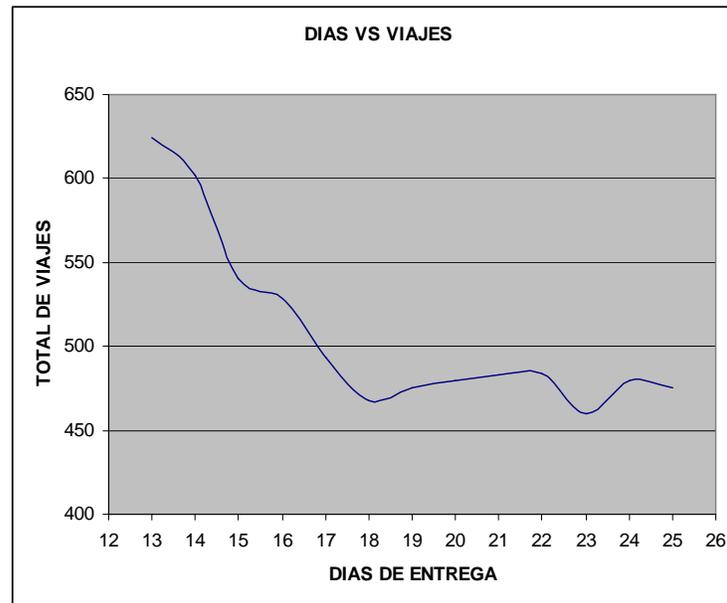


Figura 4.7 Viajes por día ⁶⁰

Para la evaluación financiera se toman en cuenta los costos asociados a la renta de un camión y los costos de operación de un centro de distribución. En la Tabla 4.6 se presentan los costos de la renta de un camión, y en la Tabla 4.7 se muestran los costos de operación de un CD.

Tabla 4.6 Costos de la renta del camión por día

RENTA DE CAMIÓN RABÓN			
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO
1	RENTA POR DÍA-250KM	C/DÍA	\$1.093,05
2	RENTA POR SEMANA	C/DÍA	\$978,54
3	SERVICIO DE TRANSPORTE	HORA	\$60,00
4	DIESEL	LITRO	\$5,27
5	KILOMETRAJE EXCEDENTE	KM	\$1,25
6	RENTA DE MONTACARGAS	M/DÍA	\$800,00
RENDIMIENTO DEL CAMIÓN		LITRO/KM	0.50
DÓLAR AMERICANO*		DÓLAR	\$10,41

*Valor del dólar del día 18/06/2008

60 Fuente: Elaboración propia con información del LTST-II-UNAM



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Tabla 4.7 Costos del CD por día

COSTO DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN					
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	MONTO
7	SERVICIO DE ENTREGA	HOMBRE	\$200.00	6	\$1,200.00
8	RENTA DE MESA CON SILLAS	PIEZA	\$90.00	3	\$270.00
TOTAL					\$1,470.00

Para determinar los costos a lo largo del periodo de entrega, se tomaron en cuenta las cotizaciones de cada escenario y los montos calculados por día de operación, de lo que se obtuvo el total para cada escenario.

Tabla 4.8 Evaluación de los escenarios

ESCENARIO 1				
DÍAS DE ENTREGA	RUTAS	TOTAL DE VIAJES	HORAS DE SERVICIO POR RUTA	DISTANCIA TOTAL POR PERIODO (KM)
18	26	468	8	19365,84
CONCEPTO POR CLAVE	UNIDAD	CANTIDAD/ DÍA	CANTIDAD/ PERIODO	TOTAL
1	DÍA	0	0	
2	DÍA	26	468	\$457.956,72
3	HORA	208	3744	\$224.640,00
4	LITRO	537,94	9682,92	\$50.980,57
5	KM	0	0	\$0,00
6	M/DÍA	6	108	\$86.400,00
7	DÍA	50	900	\$1.080.000,00
8	DÍA	50	900	\$243.000,00
				\$2.142.977,29

ESCENARIO 2				
DÍAS DE ENTREGA	RUTAS	TOTAL DE VIAJES	HORAS DE SERVICIO POR RUTA	DISTANCIA TOTAL POR PERIODO (KM)
13	48	624	8	21431,02
CONCEPTO POR CLAVE	UNIDAD	CANTIDAD/ DÍA	CANTIDAD/ PERIODO	TOTAL
1	DÍA	48	48	\$52.466,40
2	DÍA	48	576	\$563.639,04
3	HORA	384	4992	\$299.520,00
4	LITRO	824,27	10715,51	\$56.417,16
5	KM	0	0	\$0,00
6	M/DÍA	12	156	\$124.800,00
7	DÍA	50	650	\$780.000,00
8	DÍA	50	650	\$175.500,00
				\$1.876.842,60



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

ESCENARIO 3				
DÍAS DE ENTREGA	RUTAS	TOTAL DE VIAJES	HORAS DE SERVICIO POR RUTA	DISTANCIA TOTAL POR PERIODO (KM)
23	20	460	8	21310,88
CONCEPTO POR CLAVE	UNIDAD	CANTIDAD/ DÍA	CANTIDAD/ PERIODO	TOTAL
1	DÍA	0	0	\$0,00
2	DÍA	20	460	\$450.128,40
3	HORA	160	3680	\$220.800,00
4	LITRO	463,28	10655,44	\$56.100,89
5	KM	0	0	\$0,00
6	M/DÍA	5	115	\$92.000,00
7	DÍA	50	1400	\$1.680.000,00
8	DÍA	50	1400	\$378.000,00
				\$2.877.029,29

De acuerdo a los montos totales de cada escenario, se tiene que el mejor escenario es el dos, por tener un precio menor que los otros con una deferencia entre cada uno de:

Para el escenario uno y el dos se tiene una diferencia igual a:

$$\$2,142,977.29 - \$1,876,842.60 = \$266,135$$

En términos de porcentaje se tiene un incremento

$$\% \text{ incremento} = \frac{\$2,142,977.29 - \$1,876,842.60}{\$1,876,842.60} * 100 = 14.17 \%$$

Y para el escenario dos y tres se tienen:

$$\$2,877,029.29 - \$1,876,842.60 = \$1,000,190.00$$

En términos de porcentaje se tiene un incremento

$$\% \text{ incremento} = \frac{\$2,877,029.29 - \$1,876,842.60}{\$1,876,842.60} * 100 = 53.29 \%$$



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Además de considerar el costo de distribución y entrega de los paquetes de útiles escolares, se hizo un análisis de los tiempos de carga de los camiones de distribución.

Para el análisis de los tiempos de carga de un camión Rabón que contiene 20 estibas, se tomaron en cuenta los tiempos de llenado de un camión de este tipo con la utilización de un montacargas, Con base en los testimonios del Sr. Alejandro Ramírez y el Sr. Juan Carlos, que son operadores de camiones de carga de una empresa refresquera, se obtuvo el tiempo que se muestra en la Tabla 4.9

Tabla 4.9 Tiempo de carga de un camión Rabón

OPERACIONES	TIEMPO
CARGA DE CAMIÓN CON UN MONTACARGAS	40 MIN

El escenario uno considera 26 vehículos de carga; se propone que deben cargarse todos los camiones en un lapso de tres horas, para que reste tiempo para que el último vehículo en cinco horas pueda llegar y descargar a los centros de distribución.

Respecto a la carga de los camiones con montacargas, en las Tablas 4.10, 4.11 y 4.12, se presenta el tiempo total de carga de los vehículos donde marcado en gris aparece el total de montacargas utilizados para poder realizar esta operación en tres horas o menos.

Tabla 4.10 Tiempo de carga de vehículos para 26 rutas

# MONTACARGAS	TIEMPO DE CARGA	TIEMPO CICLO	CAMIONES POR HORA	HORAS DE CARGA TOTAL
1	40 MIN	40 MIN	1.5	17.33 HRS
2	40 MIN	20 MIN	3	8.66 HRS
3	40 MIN	40/3 MIN	4.5	5.77 HRS
4	40 MIN	10 MIN	6	4.33 HRS
5	40 MIN	8 MIN	7.5	3.46 HRS
6	40 MIN	20/3 MIN	9	2.88 HRS

Tabla 4.11 Tiempo de carga de vehículos para 48 rutas

# MONTACARGAS	TIEMPO DE CARGA	TIEMPO CICLO	CAMIONES POR HORA	HORAS DE CARGA TOTAL
1	40 MIN	40 MIN	1,50	32 HRS
2	40 MIN	20 MIN	3,00	16 HRS
3	40 MIN	13 1/3 MIN	4,50	10,667 HRS
4	40 MIN	10 MIN	6,00	8 HRS



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

5	40 MIN	8 MIN	7,50	6,4 HRS
6	40 MIN	6 2/3 MIN	9,00	5,333 HRS
7	40 MIN	5 5/7 MIN	10,50	4,571 HRS
8	40 MIN	5 MIN	12,00	4 HRS
9	40 MIN	4 4/9 MIN	13,50	3,556 HRS
10	40 MIN	4 MIN	15,00	3,2 HRS
11	40 MIN	3 7/11 MIN	16,50	2,909 HRS
12	40 MIN	3 1/3 MIN	18,00	2,667 HRS

Tabla 4.12 Tiempo de carga de vehículos para 20 rutas

# MONTACARGAS	TIEMPO DE CARGA	TIEMPO CICLO	CAMIONES POR HORA	HORAS DE CARGA TOTAL
1	40 MIN	40 MIN	1,50	13,333 HRS
2	40 MIN	20 MIN	3,00	6,667 HRS
3	40 MIN	13 1/3 MIN	4,50	4,444 HRS
4	40 MIN	10 MIN	6,00	3,333 HRS
5	40 MIN	8 MIN	7,50	2,667 HRS
6	40 MIN	6 2/3 MIN	9,00	2,222 HRS

Para el escenario uno se tiene un total de seis montacargas para el manejo de los paquetes escolares, esto significa que se deben de cargar seis camiones simultáneamente para tener todos los vehículos llenos en un lapso de tres horas y que se inicie la distribución de los útiles escolares del último camión con el tiempo suficiente para completar su recorrido y entregar su carga.

En la Tabla 4.11 se muestra el total de montacargas utilizado para el escenario dos (marcado con gris), lo que representa manejar la carga de 12 vehículos simultáneamente para lograr el tiempo de tres horas.

Los resultados anteriores respaldan la dificultad de tener que operar una flota de 48 vehículos diarios. A pesar de que este escenario sostiene un costo más barato para la distribución y entrega de útiles escolares para un intervalo de tiempo de 13 días, la preparación de los camiones de carga es muy difícil, teniendo en cuenta que se deben de operar 12 montacargas para el llenado de los camiones y además se debe contar con el espacio requerido para realizar tal operación.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

4.5. MEJORAMIENTO DEL ESCENARIO SELECCIONADO

El mejor escenario es el uno, con 18 días de entrega y distribución de los paquetes de útiles escolares de todo el DF mediante 26 rutas diarias de entrega a los 50 centros de distribución, con un costo total de \$2,142,977.29. A pesar de no ser el escenario con el menor costo, sí es el de mejor factibilidad técnica para el llenado de los camiones porque es importante tomar en cuenta el espacio de las operaciones, que al final se traduce en restricciones de espacio dentro del depósito para cargar los camiones.

Con el fin de disminuir aún más los costos para este escenario, se consideró que en el itinerario de cada una de las rutas de distribución determinadas por el modelo, sólo se contempla cargar el camión para satisfacer la demanda diaria de los CD's, y que sería conveniente aprovechar el espacio disponible (vacío) de los camiones. Se calculó el espacio de carga disponible por cada ruta durante todo el periodo de entrega; si el espacio disponible acumulado de todo el periodo era superior a las 560 unidades de carga (que es la capacidad del camión) se ahorra un viaje. En la Tabla 4.13 se muestran los viajes ahorrados por ruta y el total de viajes para el proceso de distribución y entrega de los paquetes de útiles escolares.

Tabla 4.13 Disminución del número viajes

RUTA	CARGA ENTREGADA	VACÍO	VACÍO 18 DÍAS	VIAJES AHORRADOS	VIAJES TOTALES
1	441	119	2142	3	15
2	523	37	666	1	17
3	488	72	1296	2	16
4	363	197	3546	6	12
5	461	99	1782	3	15
6	411	149	2682	4	14
7	511	49	882	1	17
8	531	29	522	0	18
9	501	59	1062	1	17
10	500	60	1080	1	17
11	450	110	1980	3	15
12	534	26	468	0	18
13	359	201	3618	6	12
14	522	38	684	1	17
15	531	29	522	0	18
16	535	25	450	0	18
17	503	57	1026	1	17
18	526	34	612	1	17



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

19	558	2	36	0	18
20	560	0	0	0	18
21	474	86	1548	2	16
22	395	165	2970	5	13
23	502	58	1044	1	17
24	517	43	774	1	17
25	514	46	828	1	17
26	506	54	972	1	17
			TOTAL	45	423

Tabla 4.15 Costo de distribución y entrega en 18 días

COSTOS DEL ESCENARIO UNO				
DÍAS DE ENTREGA	RUTAS	TOTAL DE RUTAS	HORAS DE SERVICIO POR RUTA	DISTANCIA TOTAL POR PERIODO (KM)
18	26	423	8	17,383.67
CONCEPTO POR CLAVE	UNIDAD	CANTIDAD/ DÍA	CANTIDAD/ PERIODO	TOTAL
1	DÍA	0	0	\$0.00
2	DÍA	26	423	\$413,922.42
3	HORA	208	3384	\$203,040.00
4	LITRO	482.88	8691.835	\$45,762.51
5	KM	0	0	\$0.00
6	M/DÍA	6	108	\$86,400.00
7	DÍA	50	900	\$1,080,000.00
8	DÍA	50	900	\$243,000.00
				\$2,072,124.93

La nueva cotización del escenario uno, obtuvo una disminución de 45 viajes en la distribución de útiles escolares en un periodo de 18 días de entrega, como se muestra en la Tabla 4.14. Se obtuvo un costo total de \$2,072,125.00 para el proceso de distribución y entrega de los paquetes de útiles escolares.

Además, se propuso el llenado de los camiones de carga utilizando seis montacargas, realizando las operaciones de llenado de tres camiones simultáneamente con un tiempo ciclo de llenado por camión de 20 min como se muestra en la tabla 4.16.

Tabla 4.16 Tiempo de llenado por camión

# MONTACARGAS	TIEMPO DE CARGA	TIEMPO CICLO
1	40 MIN	40 MIN
2	40 MIN	20 MIN



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Se supuso la utilización de dos montacargas para llenar un camión, de esta manera se aseguraría que cada uno estuviera cargado cada 20 minutos y así se tendrían 9 camiones por hora listos para distribuir los paquetes escolares, también de esta forma se reduciría el espacio de operaciones de carga dentro del depósito. En la Figura 4.8 se muestra un esquema de la forma de carga de los camiones.

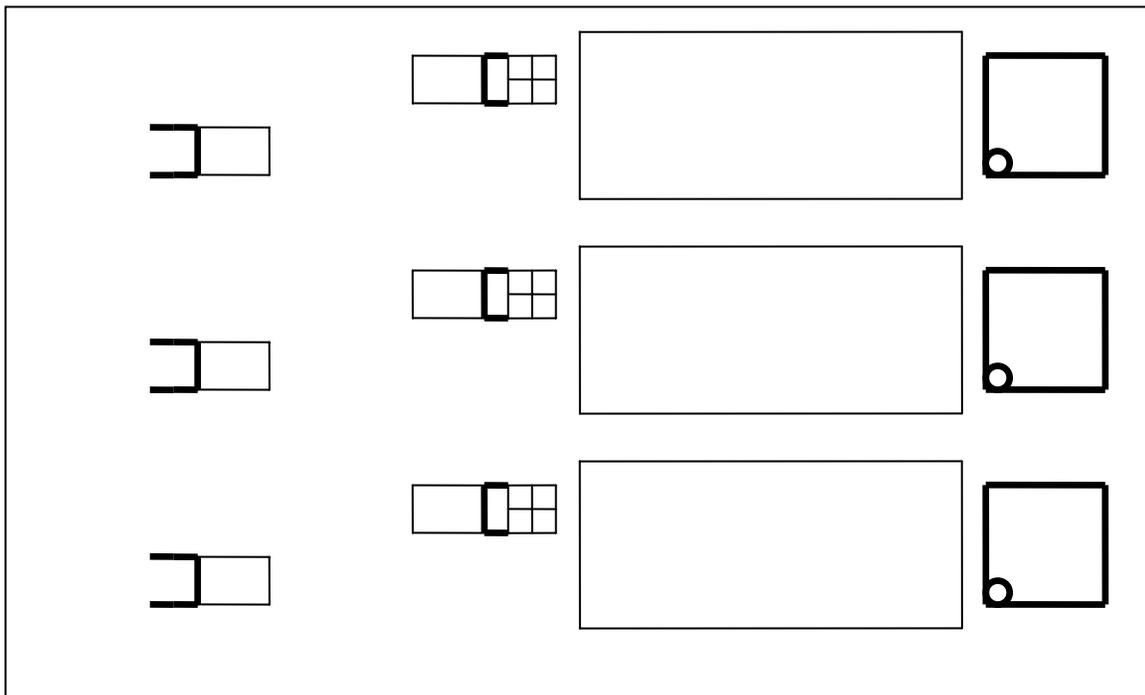


Figura 4.8 Esquema de carga de tres camiones con seis montacargas

Con estos cambios se obtuvo un ahorro adicional de \$70,852.00, teniendo un costo total de \$2,072,125.00; y además con la propuesta de llenado de los camiones de carga, se ahorraría en espacio y se aseguraría que los 26 camiones estuvieran listos para distribuir los paquetes de útiles escolares en tres horas.



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

CONCLUSIONES

La determinación de la demanda de cada centro de distribución fue un factor fundamental para establecer las rutas de distribución. El tomar en cuenta las restricciones de límites delegacionales, por tener diferente administración y diferente densidad de población, permitió una mejor perspectiva de la demanda no homogénea en los centros de distribución.

La estandarización de la unidad de carga de los paquetes escolares permitió establecer la demanda de cada CD's, además de que facilita el manejo de los paquetes de útiles escolares. La propuesta del montacargas para reducir el tiempo de llenado del vehículo de carga, y la determinación de un acomodo de la estiba para aprovechar el espacio máximo de la caja del vehículo con una eficiencia del área ocupada del 96.25%, permitieron un mejor aprovechamiento del espacio de carga.

Proponer diferentes periodos de tiempo para entregar los paquetes de útiles escolares permitió analizar los costos de los escenarios, teniendo en cuenta que la entrega actual de los paquetes dura cuatro semanas en cada CD's. Con base en esto, se propuso una reducción del periodo de entrega de 18, 13 y 23 días hábiles para los tres escenarios propuestos respectivamente.

La aplicación del modelo VRP o modelo del problema de rutas de vehículo, permitió asegurar que los costos asociados a la distancia recorrida fueran mínimos. La solución del problema facilitó la toma de decisión del mejor escenario propuesto.

A pesar de que se obtuvo una reducción de costos significativa para los dos primeros escenarios (escenarios con 18 y 13 días de entrega respectivamente) respecto al escenario tres con 23 días de entrega, se tuvo que tomar otro factor de decisión para elegir entre los escenarios uno y dos (con una diferencia entre éstos de \$266,135.00), el cual fue el manejo de materiales para el llenado de los camiones de carga, que considera el tiempo de carga de los vehículos y el espacio disponible para el llenado de los mismos. La facilidad de manejo simultáneo de 6



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

montacargas en vez de 12 y la disponibilidad de espacio suficiente para las operaciones, hicieron que el mejor escenario para la propuesta de distribución y entrega de útiles escolares gratuitos en el Distrito Federal fuera el escenario uno con 18 días de distribución y entrega de paquetes escolares.

Con la aplicación de las técnicas para la solución de problemas de rutas de vehículo o VRP, además de tratar de optimizar la distancia de cada ruta, se redujo lo más posible el número de vehículos utilizados para la distribución; y también se organizó la forma en cómo se debe de distribuir, asegurando que la oferta diaria de cada centro de distribución sea cubierta por el vehículo de carga asignado en la entrega de los paquetes de útiles escolares. Con esto es posible concluir que al aplicar el VRP se organiza y asegura la distribución de los paquetes de útiles escolares, al menor costo posible.

La realización de este trabajo usando como base el análisis del VRP y conjuntándolo con herramientas de Ingeniería Industrial (análisis económico, manejo de materiales y procesos) para buscar la integración de recursos humanos, materiales, económicos dio como resultado una propuesta para la distribución y entrega de los útiles escolares donde además de obtener un mejor presupuesto, se consiguió un mejor manejo de materiales, mejora en el aprovechamiento del espacio disponible en los vehículos de carga y una buena organización de rutas para la distribución cumpliendo con la premisa fundamental de Ingeniería Industrial: “Siempre hay un método mejor”

APÉNDICE A: DÍPTICO DE ESTIBAMAX®



Instituto Mexicano del Envase

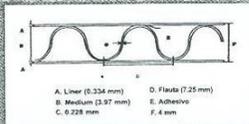
MODELO IMPEE - 01

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE ESTIBAS

© José Antonio Rodríguez Tarango



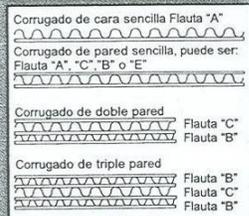
INSTITUTO MEXICANO DE PROFESIONALES EN ENVASE Y EMBALAJE, S.C.



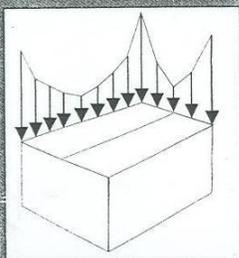
Estructura típica del cartón corrugado - dimensiones del cartón (flauta C)

Nombre y Tipo	Flautas por (m)	Grosor (mm)
Flauta "A"	118	5.0
Flauta "B"	167	3.0
Flauta "C"	138	4.0
Flauta "E" (microcorrugado)	315	1.6

Tipos de flauta en cartón corrugado con el grosor de la estructura y el número de flautas por metro.



Estructuras típicas del cartón corrugado de acuerdo a número de flautas y liners involucrados en su composición.



La resistencia a la compresión de una caja es determinante en su eficiencia durante su manejo, siendo esta resistencia mayor en los vértices de la caja y decreciendo conforme se aleja de los mismos. Por tal motivo es recomendable el diseño de cajas donde el largo de la base no sea tan grande.

IMPORTANCIA DEL EMBALAJE EN LA DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS

El diseño tanto en la forma como en la estructura de una caja de cartón corrugado resulta determinante para la protección de los productos, los cuales son sometidos durante su almacenamiento y transportación a condiciones de manejo rudas y generalmente fuera de nuestro control, dañando en ocasiones en forma irremediable y total los productos, los cuales no solo no podrán comercializarse, sino además van a generar gastos para la recuperación del producto y mas importante, en muchas ocasiones esto generará la pérdida de nuestros clientes.

El diseño de una caja debe considerar especialmente el producto, su manejo, el tipo de almacenaje y transportación que se usará, las etapas del ciclo logístico, las condiciones climatológicas y muy especialmente la resistencia a la carga o compresión que debe tener la caja.

En este modelo de consulta rápida se proporcionan las herramientas para determinar la resistencia a la compresión de una caja de cartón corrugado, calculada a partir de la estructura seleccionada, los materiales y las dimensiones finales de la caja, así mismo se muestran las fórmulas desarrolladas por el Instituto Mexicano de Profesionales en Envase y Embalaje S.C., así como de otros profesionales como R. McKee. También se muestra una serie de elementos que afectarán negativa o positivamente la resistencia original de la caja, como son las divisiones interiores, el efecto de la humedad, el punteado en las cajas, la forma de hacer los atados de las cajas y muy importante el efecto que tiene la forma de la estiba en tal resistencia.

Particularmente se muestra el modelo desarrollado por el IMPEE para la selección de la forma de acomodo de las cajas en una tarima estandar de 1 x 1.2 m, tal que se aproveche al máximo la superficie de la tarima y por consiguiente el espacio tanto de los almacenes como de los contenedores para transportar el producto, significando en ambos casos ahorros significativos en el manejo del producto.

CON ESTE MODELO USTED PODRÁ:

- ° Calcular la resistencia a la compresión de una caja de cartón corrugado.
- ° Determinar el acomodo óptimo de las cajas en una tarima estandar.
- ° Conocer los elementos que incrementan y reducen la resistencia a la compresión de una caja y en que porcentaje afectan a la resistencia.
- ° Conocer como afecta la forma de la estiba a la resistencia a la compresión de una caja.
- ° Conocer los componentes del cartón corrugado, los tipos de flauta y sus diversas estructuras.

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNA CAJA Y DETERMINACIÓN DE LA ESTIBA MÁXIMA

FORMULA IMPEE PARA CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNA CAJA DE CARTÓN*

$$C = 3.576(L+A) + 2.45(H) - 9.01$$

Donde:

- C = Resistencia a la compresión de la caja de cartón (kg)
- L = Largo de la base de la caja
- A = Ancho de la base de la caja
- H = Altura de la caja (L, A y H en cm)

* Aplicable a cajas flauta C con un mullen de 9 a 16 Kg/cm²

Ejemplo:
Se tiene una caja de 35 cm de largo, 22 de ancho y 18 de altura. El peso de producto con caja: 12 Kg
Altura de la tarima: 14 cm

1. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

$$C = 3.576 (35+22)+2.45(18)-9.01$$

$$C = 238.9 \text{ Kg}$$

2. CÁLCULO DE LA ESTIBA MÁXIMA

$$EM = C / P$$

Donde:

- EM = Estiba máxima
- C = Res. a compresión
- P = Peso de caja y producto.

$$EM = 238 / 12$$

$$EM = 19.9 \text{ cajas}$$

3. ALTURA MÁXIMA DE LA ESTIBA

$$\text{Altura} = H \times EM$$

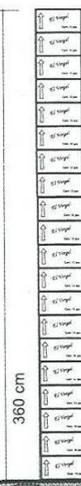
$$\text{Altura} = 18 \times 20$$

$$\text{Altura} = 360 \text{ cm}$$

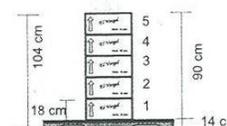
4. ALTURA DISPONIBLE POR TARIMA

$$ADT = 120 \text{ cm} - 14 \text{ cm}$$

$$ADT = 106 \text{ cm}$$



Estiba máxima



Estiba por tarima

5. CÁLCULO DE NUMERO DE CAMAS POR TARIMA

$$NC = ADT / H$$

$$NC = 106 / 18 = 5.8 \text{ camas}$$

$$NC = 5$$

6. ALTURA DE CADA ESTIBA

$$AE = (NC \times H) + 14 \text{ cm}$$

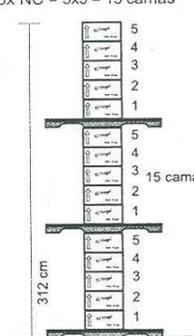
$$AE = (5 \times 18) + 14 = 104 \text{ cm}$$

7. ALTURA A 3 ESTIBAS

$$A3E = 3 \times AE = 3 \times 104 = 312 \text{ cm}$$

8. CAMAS TOTALES DE LA ESTIBA

$$CT = 3 \times NC = 3 \times 5 = 15 \text{ camas}$$



Estiba a tres tarimas

APÉNDICE A: DÍPTICO DE ESTIBAMAX®

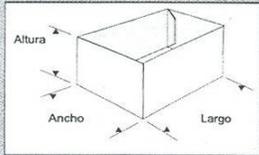


MODELO DE ACOMODOS EN TARIMA ESTANDAR

Matriz de Acomodos de acuerdo a las dimensiones de la base del embalaje.

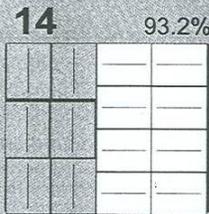
Instrucciones:

En la matriz de la izquierda se debe buscar la dimensión del ancho de la caja en la columna de la derecha y posteriormente el largo en la línea superior, la intersección de ambas líneas proporciona un número que es el número de cajas por cama en la tarima, este mismo número debe buscarse en la siguiente página para localizar la forma del acomodo de las cajas sobre una tarima estandar de 1 x 1.2 m



Ejemplo:

Si se tiene un caja con 170 mm de ancho y 500 mm de largo, en la intersección aparece el número 14, lo que significa que en la tarima podrán colocarse 14 cajas por cama y que el acomodo de las mismas será el número 14, con el cual se obtiene un aprovechamiento de la tarima del 93.2%, como se aprecia en la siguiente figura.



Ancho de la base de la caja

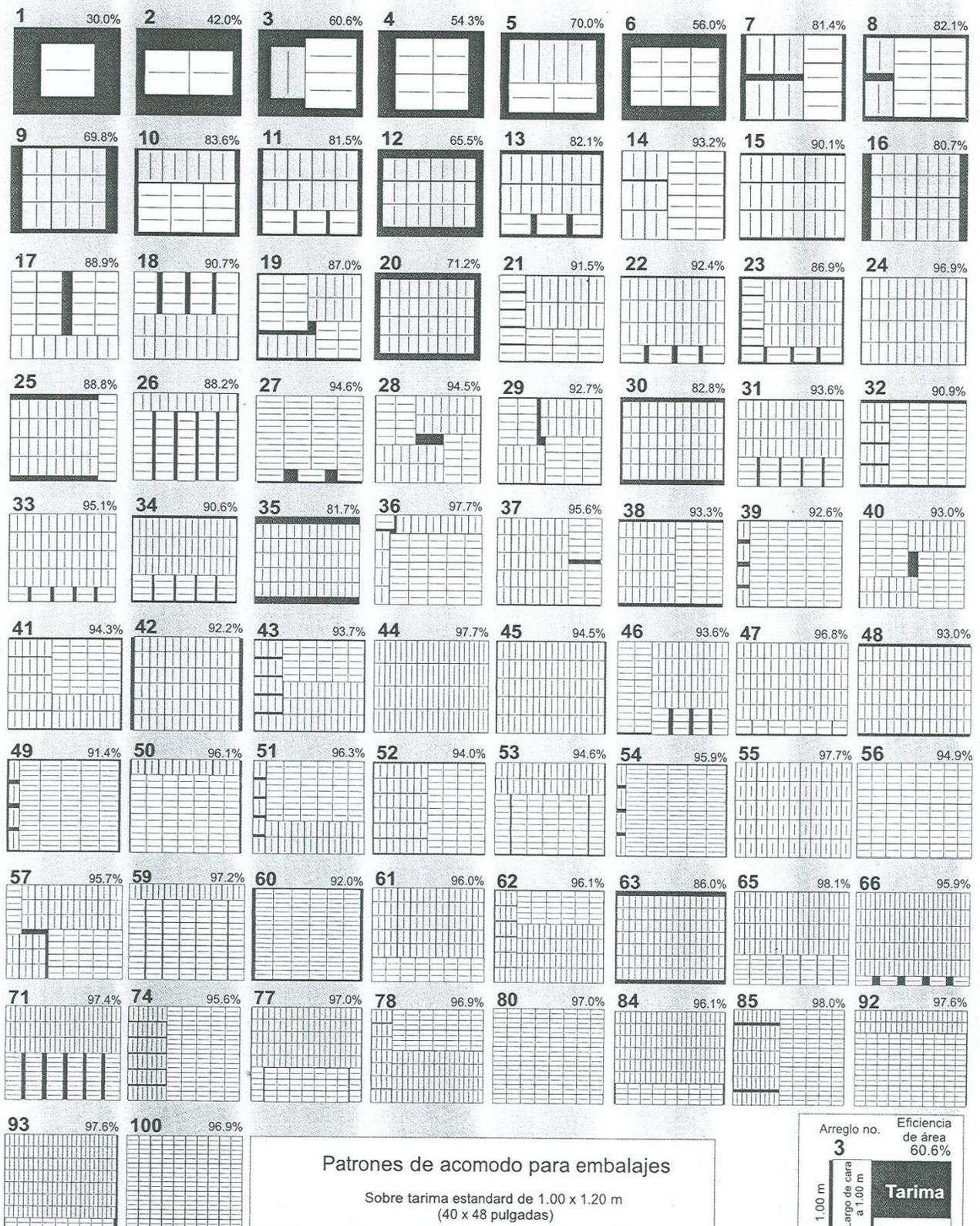
© José Antonio Rodríguez Tarango

Largo de la base de la caja

	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
100	100	93	85	80	74	71	66	60	60	55	54	51	50	48	44	44	40	40	40	37	36	36	34	34	32	32	30	30	30
110	92	84	78	74	66	65	61	57	55	49	49	47	46	44	41	41	38	37	37	33	33	33	31	30	29	28	28	28	27
120	80	77	71	66	62	59	53	52	50	46	45	40	40	40	37	37	34	34	32	31	31	30	26	26	26	26	25	25	25
130		63	63	61	57	53	51	47	45	42	41	39	38	36	31	31	31	31	30	29	27	27	26	25	24	21	21	21	21
140			56	56	52	50	46	43	42	39	38	36	35	34	31	28	28	28	27	26	25	23	23	23	21	21	21	21	21
150				48	48	47	43	41	40	37	34	34	33	32	30	28	28	24	24	24	24	22	22	20	20	20	20	20	20
160					42	42	40	38	37	36	32	32	30	30	28	26	26	24	24	21	21	21	21	21	20	19	18	18	18
170						35	35	35	35	33	31	29	29	28	25	25	25	23	23	21	21	21	17	17	17	17	17	17	17
180							30	30	30	30	29	28	26	25	23	23	23	22	21	20	20	19	17	15	15	15	15	15	15
190								30	30	30	28	26	26	25	23	22	20	20	20	19	18	17	15	15	15	15	15	15	15
200									30	26	25	25	25	24	22	22	20	20	20	18	18	18	15	15	15	15	15	15	15
210										20	20	20	20	20	20	19	19	19	17	16	16	16	15	15	15	15	14	13	13
220											20	20	20	20	20	19	18	17	16	16	16	14	14	13	13	13	13	13	12
230												20	20	20	20	18	17	17	17	16	16	15	13	13	13	13	13	13	12
240													20	20	18	17	17	16	15	15	15	13	13	13	13	13	12	12	12
250														16	16	16	16	16	16	15	15	14	13	13	12	12	12	12	12
260															12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10
270																12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	10	10	10
280																	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	10	10	10
290																		12	12	12	12	12	11	11	11	11	10	10	10
300																			12	12	12	12	11	11	10	10	10	10	10
310																				9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
320																					9	9	9	9	9	9	9	9	9
330																						9	9	9	9	9	9	9	9
340																							9	9	9	9	9	9	9
350																								6	6	6	6	6	6
360																									6	6	6	6	6
370																										6	6	6	6
380																											6	6	6
390																												6	6
400																												6	6

	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650
100	28	26	26	26	26	24	24	24	24	24	23	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	16	16	16	16
110	24	22	22	24	20	23	20	22	22	22	19	19	19	19	19	19	19	18	18	18	16	16	16	16	16
120	23	21	21	22	19	20	19	20	20	20	18	18	18	17	16	16	16	16	16	16	16	14	14	14	14
130	21	18	18	20	18	19	19	18	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	12	12	12
140	18	18	18	18	16	18	17	17	17	17	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	12
150	18	16	16	16	14	16	16	16	16	16	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	10	10	10	10
160	17	16	15	16	14	14	14	14	14	14	14	14	13	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10	10	10
170	16	15	14	14	14	14	14	14	14	14	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10
180	15	14	14	14	13	14	14	13	13	12	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
190	15	12	12	14	12	12	12	12	12	12	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	7
200	14	10	10	12	10	12	12	12	12	12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7	7	7	7
210	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	6	6	6	6
220	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	6	6	6	6
230	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	6	6	6	6
240	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6
250	10	10	10	10	9	10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6
260	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
270	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
280	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
290	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5
300	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5
310	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
320	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
330	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
340	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
350	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
360	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
370	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
380	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	3
390	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	3	3
400	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	3	3
410	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
420		4	4	4	4																				

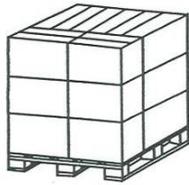
APÉNDICE A: DÍPTICO DE ESTIBAMAX®



© José Antonio Rodríguez Tarango

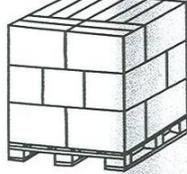
APÉNDICE A: DÍPTICO DE ESTIBAMAX®

TIPOS DE ACOMODO Y FALLAS COMUNES DE ACOMODO



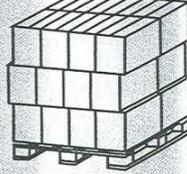
Acomodo en columna

Este acomodo mantiene la mayor resistencia a la compresión de las cajas, teniendo como desventaja su poca estabilidad, misma que puede evitarse por medio de elementos como películas estirables.



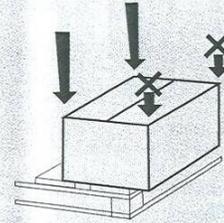
Acomodo con amarras

Este acomodo tiene como gran ventaja su estabilidad en el manejo de la carga, sin embargo también es un hecho que esta forma de acomodo resta resistencia a la compresión hasta en un 50%.



Acomodo desalineado

Es relativamente común observar en los almacenes acomodos desalineados que pueden tener un efecto de pérdida de resistencia a la compresión de aproximadamente un 30%.



Acomodo fuera de tarima (over hang)

En ocasiones con el fin de utilizar al máximo la superficie de la tarima las cajas sobresalen a la misma, esto tiene dos efectos negativos: una pérdida de compresión de aprox. 30% y la posibilidad de que la caja sea golpeada fácilmente.

1	2	3	4
0%	25%	26%	27%
5	6	7	8
29%	44%	50%	57%
9	10	11	12
58%	60%	61%	63%
13	14	15	16
70%	80%	82%	88%
17	18	19	20
89%	90%	95%	96%
21	22	23	24
101%	108%	110%	113%
25	26	27	28
117%	124%	127%	129%
29	30	31	32
133%	148%	152%	256%

INCREMENTO DE RESISTENCIA POR DIVISIONES INTERNAS

Las divisiones interiores de una caja aportarán resistencia a la compresión de acuerdo a la estructura y diseño del mismo, así por ejemplo el diseño 28 incrementará hasta un 133% de resistencia a la compresión a la resistencia original de la caja.

EFFECTO DE LA IMPRESIÓN EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Sencilla: 100% Media: 95%

Semi completa: 90% Completa: 85%

Dado que el proceso de impresión humecta y comprime las flautas, la cantidad de superficie impresa reducirá directamente hasta en un 15% la resistencia a la compresión a una caja impresa en forma completa.

EFFECTO DEL FLEJADO EN ATADOS DE LAS CAJAS

La forma en que son flejados los atados de cajas debe cuidarse ya que es común que los flejes no solo maltraten las esquinas de las cajas sino que incluso las cortan (ver figura 2) eliminando así la resistencia a la compresión normalmente en 4 de las 25 cajas del atado (16%).

Por esa razón se recomienda colocar los flejes de acuerdo a la figura 1 o en su defecto colocar protectores impidiendo que los flejes afecten a las cajas.

EFFECTO DEL PUNTEADO Y DE LOS SEPARADORES EN UNA CAJA

El punteado en una caja de cartón corrugado puede afectar estáticamente hasta en un 32% la resistencia a la compresión, sin embargo en forma dinámica la compresión se puede nulificar por rompimiento de la caja en la sección del punteado. (en negritas aparece la resistencia obtenida en Kg)

440	542
Mullen: 14kg/cm ²	Mullen 14kg/cm ²
295	385
Mullen: 14kg/cm ²	Mullen 14kg/cm ²
390	640
Mullen: 17.5kg/cm ²	Mullen 14kg/cm ² Doble corrugado
	526
	Mullen 7kg/cm ²
	547
	Mullen 14kg/cm ²

Fórmula de McKee

$$C = 5.874 P_m \sqrt{H Z}$$

Donde:

C = Resist. a la compresión de la caja

P_m = Resist. a la compresión de una probeta de la misma caja de acuerdo al tipo de flauta.

H = Grosor del cartón

Z = Perímetro de la base de la caja.

Flauta	dimensiones (pulg)
A	2 x 2 pulg
B	1.25 x 2 pulg
C	1.5 x 2 pulg

EFFECTO DE LA HUMEDAD Y EL TIEMPO DE ESTIBA EN LA COMPRESIÓN

Efecto de la humedad		Efecto del tiempo	
Humedad %	Resist. %	Tiempo	Resist. %
Seco	100	Primeros días	100
25	90	10 días	65
50	80	30 días	60
75	65	100 días	55
85	50	365 días	50

Dado que la humedad tiende a humectar las fibras del cartón este va perdiendo resistencia a la compresión de acuerdo a la tabla, así cuando una caja tiene un 50% de humedad esta ha perdido un 20% de resistencia. Igualmente el tiempo en que la caja esta cargando en la estiba afecta la resistencia, por lo que una caja que ha estado estibada por 30 días ha perdido aprox. un 40% de resistencia

EFFECTO DE LA HUMEDAD

$$C_f = C_i \frac{10^{(3.01) X_1}}{10^{(3.01) X_2}}$$

Fórmula para calcular la compresión de una caja a la cual se le ha incrementado la humedad.

Donde:

C_f = Compresión final

C_i = Compresión inicial

X₁ = Humedad inicial del cartón

X₂ = Humedad final del cartón

APÉNDICE B: CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

Tabla B.1 Clasificación de vehículos atendiendo a su clase

CLASE	NOMENCLATURA
AUTOBUS	B
CAMION UNITARIO	C
CAMION REMOLQUE	C-R
TRACTOCAMION ARTICULADO	T-S
TRACTOCAMION DOBLEMENTE ARTICULADO	T-S-R y T-S-S

Tabla B.2 Clasificación de vehículos atendiendo a su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas

CAMION UNITARIO (C)			
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
C2	2	6	
C3	3	8-10	
CAMION-REMOLQUE (C-R)			
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

APÉNDICE B: CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

Tabla B.3 Pesos máximos autorizaos por tipo de eje y camino (Ton=toneladas)

CONFIGURACION DE EJES	TIPO DE CAMINO			
	ET4 Y ET2 A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
 SENCILLO DOS LLANTAS	6,50	6,00	5,50	5,00
 SENCILLO CUATRO LLANTAS	10,00	9,50	8,00	7,00
 MOTRIZ SENCILLO CUATRO LLANTAS	11,00	10,50	9,00	8,00
 MOTRIZ DOBLE O TANDEM SEIS LLANTAS	15,00	13,00	11,50	11,00
 DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS	17,00	15,00	13,50	12,00
 MOTRIZ DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS	18,00	17,00	14,50	13,50
 TRIPLE O TRIDEM DOCE LLANTAS	23,50	22,50	20,00	NA

NA = NO AUTORIZADO

- (1) En el caso de los vehículos de pasajeros, la Secretaría, con el propósito de promover la seguridad, autoriza descargas en los vehículos que cuenten con suspensión neumática, con una concentración máxima de 7,5 t en el eje delantero.

APÉNDICE B: CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

Tabla B.4 Peso bruto vehicular máximo autorizado por clase de vehículo y camino

VEHICULO O CONFIGURACION VEHICULAR	NUM. EJES	NUM. LLANTAS	PESO BRUTO VEHICULAR (t)			
			ET y A	B	C	D
B2	2	6	17,5	16,5	14,5	13,0
B3	3	8	21,5	19,0	17,0	16,0
B3	3	10	24,5	23,0	20,0	18,5
B4	4	10	27,0	25,0	22,5	21,0
C2	2	6	17,5	16,5	14,5	13,0
C3	3	8	21,5	19,0	17,0	16,0
C3	3	10	24,5	23,0	20,0	18,5
C2-R2	4	14	37,5	35,5	NA	NA
C3-R2	5	18	44,5	42,0	NA	NA
C3-R3	6	22	51,5	47,5	NA	NA
C2-R3	5	18	44,5	41,0	NA	NA
T2-S1	3	10	27,5	26,0	22,5	NA
T2-S2	4	14	34,5	31,5	28,0	NA
T3-S2	5	18	41,5	38,0	33,5	NA
T3-S3	6	22	48,0	45,5	40,0	NA
T2-S3	5	18	41,0	39,0	34,5	NA
T3-S1	4	14	34,5	32,5	28,0	NA
T2-S1-R2	5	18	47,5	45,0	NA	NA
T2-S1-R3	6	22	54,5	50,5	NA	NA
T2-S2-R2	6	22	54,5	50,5	NA	NA
T3-S1-R2	6	22	54,5	51,5	NA	NA
T3-S1-R3	7	26	60,5	57,5	NA	NA
T3-S2-R2	7	26	60,5	57,5	NA	NA
T3-S2-R4	9	34	66,5	66,0	NA	NA
T3-S2-R3	8	30	63,0	62,5	NA	NA
T3-S3-S2	8	30	60,0	60,0	NA	NA
T2-S2-S2	6	22	51,5	46,5	NA	NA
T3-S2-S2	7	26	58,5	53,0	NA	NA

NA- No Autorizado

APÉNDICE B: CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

Tabla B.5 Largo máximo autorizado por clase de vehículo y camino

VEHICULO O CONFIGURACION VEHICULAR	NUM. EJES	NUM. LLANTAS	LARGO TOTAL (m)			
			ET y A	B	C	D
B2	2	6	14,0	14,0	14,0	12,5
B3	3	8	14,0	14,0	14,0	12,5
B3	3	10	14,0	14,0	14,0	12,5
B4	4	10	14,0	14,0	14,0	12,5
C2	2	6	14,0	14,0	14,0	12,5
C3	3	8	14,0	14,0	14,0	12,5
C3	3	10	14,0	14,0	14,0	12,5
C2-R2	4	14	31,0	28,5	NA	NA
C3-R2	5	18	31,0	28,5	NA	NA
C3-R3	6	22	31,0	28,5	NA	NA
C2-R3	5	18	31,0	28,5	NA	NA
T2-S1	3	10	23,0	20,8	18,5	NA
T2-S2	4	14	23,0	20,8	18,5	NA
T3-S2	5	18	23,0	20,8	18,5	NA
T3-S3	6	22	23,0	20,8	18,5	NA
T2-S1-R2	5	18	31,0	28,5	NA	NA
T2-S1-R3	6	22	31,0	28,5	NA	NA
T2-S2-R2	6	22	31,0	28,5	NA	NA
T3-S1-R2	6	22	31,0	28,5	NA	NA
T3-S1-R3	7	22	31,0	28,5	NA	NA
T3-S2-R2	7	26	31,0	28,5	NA	NA
T3-S2-R4	9	34	31,0	28,5	NA	NA
T3-S2-R3	8	30	31,0	28,5	NA	NA
T3-S3-S2	8	30	25,0	25,0	NA	NA
T2-S3	5	18	23,0	20,0	18,0	NA
T3-S1	4	14	23,0	20,0	18,0	NA
T2-S2-S2	6	22	31,0	28,5	NA	NA
T3-S2-S2	7	26	31,0	28,5	NA	NA

NA-No Autorizado



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

REFERENCIAS

- GDF (2008), *Base de datos de escuelas e inmuebles del Distrito Federal*, Secretaría de Educación, GDF.
- Golden B.L. and Assad A.A., *Vehicle Routing: Methods and Studies*, North Holland, U.S.A. 1991.
- Cordone, R., Wolfler R., *A heuristic for the vehicle routing problem with time windows*, Journal of Heuristics 2001.
- Longley P. A., *Geographic Information Systems and Science*, John Wiley & Sons, England 2005.
- Mora J., *Investigación de operaciones e informática*, Ed. Trillas, México 1980.
- Lin, S-W. et al., *Applying hybrid-meta heuristics for capacited vehicle routing problem*, Expert Systems for Application, 2008, doi: 10.1016/j.eswa.2007.11.060
- M. R. Garey y D. S. Johnson, *Computers and Intractability: A Guide to the Theory NP-Completeness*, Freeman, New York 1979.
- Mendenhall, William, *Introducción a la probabilidad y estadística*, Thomson, México 2008.
- <<http://www.gis.com/>>[consulta: 08/02/2008]
- <<http://www.df.gob.mx/leyes/normatividad.html?materia=1&apartado=1&disp=361>> [consulta: 08/02/2008]
- <<http://www.locatel.df.gob.mx/kescolar/informativo.php>> [consulta: 08/02/2008]
- <http://www.sep.gob.mx/wb2/sep/sep_Bol2750704> [consulta: 08/02/2008]
- <<http://personales.upv.es/arodrigu/rutas/>> [consulta:27/03/2008]
- <<http://personales.upv.es/arodrigu/grafos/CVRP.htm>> [consulta:27/03/2008]
- <http://personales.upv.es/arodrigu/Grafos/TSP.htm>[consulta:27/03/2008]
- <<http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>> [consulta:27/03/2008]



PROPUESTA EN LA DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA DE ÚTILES ESCOLARES GRATUITOS EN EL DISTRITO FEDERAL

- <http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_rutas_de_veh%C3%ADculos> [consulta:27/03/2008]
- <<http://www.sds.df.gob.mx/archivo/oip/2007/presupuestoprograma2007.pdf>> [consulta: 15/05/2008]
- <<http://www.sds.df.gob.mx/archivo/oip/2007/contratos2007.pdf>> [consulta: 15/05/2008]
- <<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/cartocen/cartocen.cfm?c=334>> [consulta: 15/05/2008]
- <<http://www.sepbcs.gob.mx/comunicacion/Noticias%20educacion/Noticias%202007/utiles%20escolares.htm>> [consulta: 15/05/2008]
- <<http://www.tsp.gatech.edu/history/pictorial/usa13509.html>> [consulta: 02/06/2008]
- <www.sciencedirect.com> [consulta: 04/06/2008]
- <http://dof.gob.mx/busqueda_detalle.php> [consulta: 04/06/2008]
- <http://www.ccidep.gob.pe/index.php?option=com_content&task=view&id=11&Itemid=25> [consulta: 04/06/2008]
- <<http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch1en/meth1en/ch1m4en.html>> [consulta: 04/06/2008]
- <http://www.cucsur.udg.mx/oet/Archivos/Diapositivas/Semana_4b_Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geografica_2.pps> [consulta: 05/06/2008]
- Alejandro García del Valle, Optimización de rutas, seguridad en el transporte y sistemas GIS, Universidad de la Coruña, España, 2006.
- Abraham Duarte Muñoz, Metaheurísticas, Dykinson, España, 2007
- Arquitecto Fernando González, entrevista Marzo 6, México DF. 2008
- Lic. Diana I. Martínez Mtz., Testimonio Mayo 28, México 2008
- Sra. Elvira Mendoza, Testimonio Mayo 28, México 2008
- Sr. Jorge, Testimonio Mayo 26, México 2008
- Alumna Sara Torres Martínez, Testimonio Mayo 26, México 2008