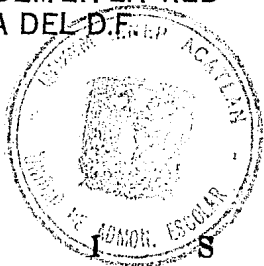




# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

## UNA SOLUCION AL PROYECTO PARA LA ELABORACION DE UNA RED AUXILIAR DE RUTAS INTERTANDEMEN LA RED TELEFONICA DEL D.F.



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

A C T U A R I O

P R E S E N T A N :

LETICIA SANCHEZ ESQUEDA



FALLA DE ORDEN



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

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

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

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

# I N D I C E

Introducción		
I	Aspectos Generales de la Red Telefónica	.... 1
1.1	Red Telefónica	.... 2
1.2	Conmutación Telefónica	.... 8
1.3	Equipos de Conmutación	.... 10
1.4	Medios de Transmisión	.... 13
1.5	Estructura de la Red Telefónica en el D.F.	.... 17
1.6	Problemática de la Red Telefónica en el D.F.	.... 23
II	Tratamiento y Análisis de la Información Fuente	.... 25
II.1	Análisis del registro de distancias entre Centrales Telefónicas	.... 26
II.1.1	Primer modelo Latitud - Longitud, para la estimación de distancias entre Centrales Telefónicas	.... 32
II.2	Segundo modelo no lineal propuesto para la estimación de distancias entre Centrales Telefónicas	.... 66
II.2.1	Muestreo Aleatorio Simple para la estimación de distancias entre Centrales Telefónicas	.... 68
II.2.2	Estimación del parámetro $p$ , para el segundo modelo	.... 78
II.2.3	Análisis del segundo modelo	.... 82
II.3	Propuesta de un tercer modelo	.... 84
II.4	Análisis comparativo entre el segundo y tercer modelos propuestos	.... 87
II.5	Estimación de la Matriz de Distancias mediante el tercer modelo propuesto	.... 92

III	Metodología para el diseño de la Red Auxiliar	....	105
III.1	Problema del Agente Viajero	....	107
III.2	Modelización del problema planteado como un problema del Agente Viajero	....	110
III.3	Algoritmos utilizados para la determinación del Circuito Hamiltoniano óptimo en la Red Auxiliar	....	114
III.3.1	Método Algebraico	....	114
III.3.2	Métodos de Ramificación y Acotamiento considerados	....	122
III.4	Aplicación del algoritmo de Ruta más Corta de Dijkstra para el diseño de la Red Auxiliar	....	128
III.5	Una alternativa en el diseño de la Red Auxiliar de rutas intertandem en la Red Telefónica del D.F.	....	136
IV	Resultados Obtenidos	....	138
	Conclusiones	....	141
	Bibliografía	....	142
	Anexo I	....	144
	Anexo II	....	147

## INTRODUCCION

En la actualidad en la mayoría de los países el servicio tele-  
fónico se ha convertido en una necesidad, la demanda del  
servicio ha crecido al mismo ritmo que la población, el desar-  
rollo industrial, tecnológico, etc..

La Ciudad de México no ha sido una excepción al respecto. En  
ella, este crecimiento ha provocado que la Red Telefónica re-  
quiera de constante atención en su desarrollo y mantenimiento.  
También es cierto que el desarrollo tecnológico ha influido en  
la construcción y mantenimiento de la red, lo cual implica gran-  
des inversiones económicas.

Para Telefonos de México la seguridad en todos los ámbitos es  
uno de los parámetros más importantes considerados dentro del  
análisis realizado para la toma de decisiones al efectuar una  
inversión económica importante.

Este concepto de seguridad en toda inversión, implica un costo  
que no es una inversión redituable y que no revela su utilidad  
sino hasta la existencia de alguna eventual contingencia.

La evolución y el crecimiento telefónico de la Ciudad de México  
ha configurado una red telefónica altamente compleja en distin-  
tos aspectos. Estos aspectos son tan diversos como: una gran  
variedad de equipos de conmutación, diferentes medios de trans-  
misión, diversas filosofías de enrutamiento, crecimiento cons-  
tante de líneas telefónicas, demanda telefónica cada vez mayor,  
incremento de la densidad telefónica que provoca la congestión  
y saturación de equipos.

Los proyectos de respaldo que tienen como objetivo la seguridad en la Red Telefonica no se habian constituido una necesidad por razones tales como la baja cantidad de canales transmitidos en las diferentes rutas entre centrales tandem. Con el nuevo concepto de centrales tandem digitales entra en operacion la Red de Fibra Optica <sup>(1)</sup> entre Centrales Tandem. Debido al volumen de canales de transmision se hace cada vez mas necesario el aseguramiento de la comunicacion, y por supuesto al costo mas bajo posible.

El presente trabajo tiene como objetivo principal proponer una solución como alternativa para el aseguramiento de la comunicacion con objeto de que esta se mantenga durante alguna eventual contingencia. Como objetivo secundario esta el estudio comparativo de las distancias entre centrales telefonicas del D.F.

El trabajo esta organizado de la siguiente manera:

En el capitulo I se presenta un panorama general de los elementos que constituyen la Red Telefonica del D.F., asi como el planteamiento de su problematica.

En el capitulo II se describe y analiza el tratamiento de la informacion necesaria, para la determinacion de la Red Auxiliar mediante la implementacion de 3 modelos matematicos propuestos. Asimismo para la estimacion de los parametros involucrados en dichos modelos se hace necesario realizar un muestreo aleatorio simple el cual tambien se detalla en este capitulo.

En el capitulo III se describe la metodologia para el diseño

(1) Ver definicion en el anexo I.

de la Red Auxiliar. El diseño se realiza en dos etapas. en la primera etapa el problema se plantea como un problema del agente viajero para determinar la forma de la red mediante un circuito. Se presentan entonces 2 algoritmos, se analizan y comparan las soluciones obtenidas, el tiempo consumido y las ventajas y desventajas que presenta cada uno de ellos.

En la segunda etapa se implementa un algoritmo de ruta mas corta para determinar las rutas alternas de la Red Auxiliar. Estas rutas alternas toman como guia el circuito obtenido en la primera etapa.

En el capitulo IV se realiza un resumen de los resultados obtenidos.

Finalmente se presentan las conclusiones sobre el trabajo realizado.

Se incluyen 2 anexos, en el anexo I se definen brevemente los conceptos basicos telefonicos utilizados en el desarrollo de este trabajo, en el anexo II se presentan los programas implementados para el desarrollo de este trabajo.

El objetivo de este capítulo es presentar un panorama general de la Red Telefonica en el D.F. .

El capítulo contiene seis secciones. En la primera seccion se explica el origen de una central telefonica, la formacion de los diferentes tipos de redes telefonicas y la importancia de una central tambien dentro de una red telefonica.

En la segunda seccion se describe la funcion que se desarrolla en las centrales telefonicas la cual se denomina "Commutacion Telefonica."

En la tercera seccion se describen los diferentes tipos de equipo con los cuales se lleva a cabo la comunicacion telefonica en una central de la Red Telefonica del D.F. .

En la cuarta seccion se definen los medios de transmision, que son los elementos mediante los cuales se establece un enlace de comunicacion entre centrales.

En la quinta seccion se describe la estructura de la Red Telefonica del D.F. , su division geografica que consiste de seis regiones. Asimismo se presenta la Red de Fibra Óptica existente entre Centrales tandem dentro de la Red Telefonica.

Finalmente en la sexta seccion se plantea la problematica de la Red Telefonica cuya solucion es el proposito del presente trabajo.

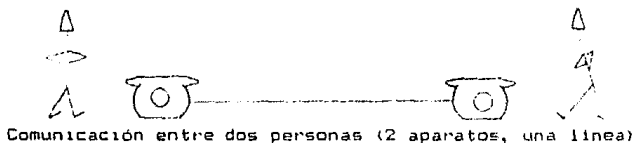
(1) Ver definicion en el anexo 1



## I ASPECTOS GENERALES DE LA RED TELEFONICA

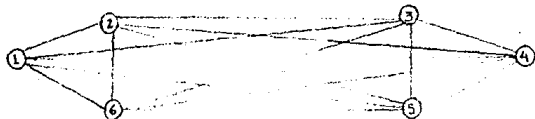
## I.1 RED TELEFONICA

La generalización primaria de la telefonía entre varias personas conduce a implementar una serie de aparatos y líneas dependiendo del número de personas.



- FIGURA # 1 -

Se observa que en un principio la forma más rudimentaria de establecer comunicación entre  $n$  abonados es tender, desde cada uno de ellos  $n-1$  líneas telefónicas de forma que pueda conectarse a todos los demás.



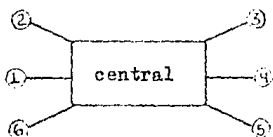
- FIGURA # 2 -

Número de líneas para seis usuarios

$$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{6 \times 5}{2} = 15$$

Se deduce fácilmente que se necesita disminuir el número de líneas telefónicas por lo que es necesario conectarlos a un órgano en el cual se realice una conmutación que permita enlazar dos abonados entre sí cuando quieran hablar. Pero sin necesidad de tenerlos conectados siempre.

Es así como nace la central telefónica, ante la imposibilidad de conectar entre sí directamente a todos los abonados.



- FIGURA # 3 -

Ahora bien en un pueblo o localidad pequeña la central cubrirá las necesidades telefónicas sin gran esfuerzo. Pero si se habla de una ciudad, se encontrarán problemas.

En primer lugar las centrales tienen una capacidad determinada. Por tanto llegará un momento en que la central no dará abasto para más abonados. Por otra parte al crecer el número de abonados, existe la posibilidad de que crezcan las distancias a la central, esto representaría una cantidad enorme de dinero necesaria para instalar muchos kilómetros de conductores, ya que cada abonado necesitaría una línea. Y además a medida que los conductores sean más largos aumentará la resistencia eléctrica

de las líneas y la corriente disminuirá. Cuando disminuya por debajo de cierto límite ya no servirá. Por todo esto es necesario en estos casos instalar más centrales de esta forma los usuarios tendrán siempre una central cercana a donde conectarse y las distancias no serán muy grandes.

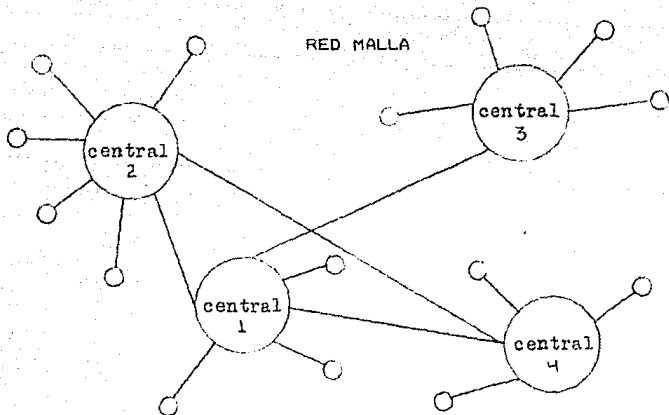
Indudablemente habrá abonados de una central que deseen hablar con abonados de otra central diferente y por tanto habrá que enlazar a las centrales entre sí.

Para enlazar a las centrales, el número de circuitos de enlace no necesita ser tan grande como las líneas de abonado que deben ser tantas como abonados.

Basta entonces con un pequeño porcentaje de circuitos entre las centrales. Debe tenerse en cuenta que una línea de abonado sólo la puede usar ese abonado, pero un enlace entre dos centrales lo usan al menos dos abonados mientras están hablando, y luego queda libre para que lo usen otros abonados diferentes.

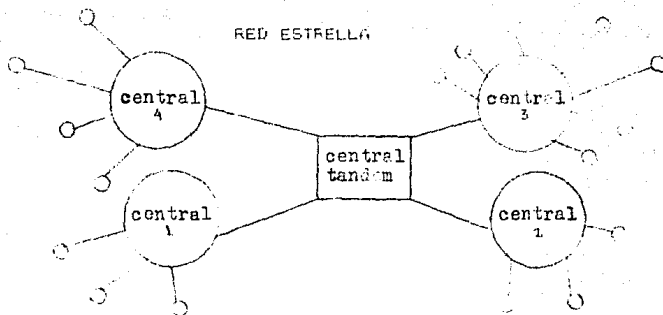
Es como la diferencia entre un coche particular y un taxi. El coche particular lo usa sólo su dueño, y cuando no lo usa está parado e inactivo. Pero un taxi, una vez que lo ha utilizado una persona queda libre para que lo use otra.

Es así como se va constituyendo una Red Telefónica, en forma de Red Malla (Ver la figura # 4).



- FIGURA # 4 -

Si el número de abonados continúa creciendo, será necesaria la creación de nuevas centrales, teniendo que enlazar cada central nueva con cada una de las otras centrales, mientras es pequeño el número de centrales el enlace entre centrales no presentan problemas pero cuando el número de centrales es muy grande en ese caso el enlazarlas todas resulta una tarea laboriosa y complicada surgiendo el problema igual que en el caso de los abonados, no se puede unir a cada abonado con cada uno de los demás, en ese caso la solución es la misma, varias centrales se conectan a otra central la cual resulta ser una central de centrales denominada Central Tandem. Formándose así una Red Estrella (Figura # 5).

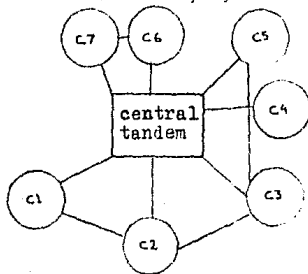


Así cuando un abonado desea hablar con otro de una central diferente la central primera se conecta a la Tandem y de esta se dirige hacia la central destino. Las centrales conectadas a este tandem formarán la Región o Área Tandem.

En la práctica se emplea un tipo de red mixta que tiene su central tandem a la que se conectan las centrales y por otra parte existen enlaces directos entre centrales en las que existe un alto índice de tráfico entre ellas.

RED MIXTA

(Combinación de Red Maya y Red Estrella)



- FIGURA # 6 -

Como se mencionó anteriormente una Red Telefonica se compone de un grupo de líneas de abonados conectadas a centrales. La función que realiza una central telefonica es la conmutacion telefónica, la cual se describe en la siguiente seccion.

## I.2 CONMUTACION TELEFONICA

El concepto de conmutación telefónica se define como el medio por el cual se establece y mantiene un camino de comunicación para distribuir el tráfico telefónico.

Los principales procesos son Selección, Conexión y Desconexión de trayectorias de voz.

En la central telefónica es donde se desarrolla la conmutación mediante los siguientes pasos.

- 1) Al descolgar el abonado A su microteléfono se envía una señal a la central telefónica a la que está conectado, iniciándose el proceso de conmutación.
- 2) Mediante etapas de control se identifica el origen de la llamada.
- 3) Un dispositivo selecciona un circuito de conexión desocupado.
- 4) Y entonces se indica que la línea del abonado A se encuentra ocupada.
- 5) De la central se envía la señal de invitación a marcar.
- 6) El abonado A solicita el número del abonado B.
- 7) Mediante etapas de control se busca un camino de comunicación.
- 8) Se conecta al abonado B.



- 9) El abonado B recibe el mensaje de llamada y descuelga su microteléfono.
- 10) Se señala ocupada la línea del abonado B.
- 11) Se establece conexión entre los abonados A y B
- 12) Los abonados envían señales de conclusión al colgar su microteléfono.
- 13) Se corta la conexión entre los dos abonados.
- 14) Se restituye el circuito de conexión.

El proceso de conmutación telefónica se lleva a cabo mediante diferentes equipos. Las principales características de estos equipos se presentan en la siguiente sección .

### I.3 EQUIPOS DE CONMUTACION

Para determinar la tecnología de una central telefónica y distribuir su tráfico telefónico se siguen un conjunto de normas técnicas que le permiten a la central cumplir con su objetivo de establecer llamadas propiciando la interconexión de equipos de diversos proveedores y diferentes tecnologías. A continuación se describen brevemente las principales características de los equipos de conmutación telefónica, utilizados en la Ciudad de México.

**Sistema AGF.-** Es un sistema telefónico automático, analógico con grupos de 500 abonados y selectores electromecánicos de 500 líneas, maneja tráfico local esta previsto para centrales en ciudades grandes y de tamaño medio.

**Sistema ARF .-**Es un sistema analógico que emplea elementos de conexión llamados "Selectores de Coordenadas". Con grupos de 200 abonados y maneja tráfico local. El voltaje nominal de trabajo es de 48 volts. El tiempo que transcurre desde que el abonado A levanta el auricular de su teléfono hasta que recibe la invitación a marcar es de 500 milisegundos.

**Sistema ARM.-** Es un sistema analógico que maneja tráfico interurbano este tipo de central se le conoce como central de tránsito y no tiene abonados conecta-

dos, si no que esta conectada a otras centrales que bien pueden ser del mismo tipo o bien centrales las cuales si tienen abonados conectados.

**Sistema AKE.-** Al igual que el sistema ARM se conoce como central de tránsito, este sistema es controlado mediante una computadora que tiene programas que ejecutan las funciones necesarias realizadas en una central.

**Sistema AXE.-** Es un sistema digital de conmutación telefonica que emplea el control mediante programa almacenado. El sistema esta constituido en su totalidad por grupos de tarjetas de circuito impreso. El número maximo de líneas de abonados es de cuarenta mil en grupos de 128 abonados. Cuenta con un dispositivo que tiene como función primordial la supervisión continua y periódica del Hardware.

**Sistema 12 .-** Es un sistema digital en el cual las funciones de control en el sistema se manejan exclusivamente por microprocesadores asociados a diferentes puertos de red. El sistema 12 cubre la entera gama de aplicaciones de centrales locales tandem interurbanas e internacionales. También es capaz de manejar más de 750 000 in-

tentos por hr., la cantidad de tráfico que puede conmutarse es de 25 000 erlangs.

Otra parte de la tecnología usada en las centrales son los medios de transmisión los cuales se describen en la sección siguiente.

#### 1.4 MEDIOS DE TRANSMISION

Para enlazar a las centrales entre si existen dos tipos de medios de transmision Fisico y PCM.

La calidad de un medio de transmision se define por la fidelidad de la reproduccion de la voz en una conversacion telefonica. Los parametros que degradan una comunicacion se deben a causas como la atenuacion, ruido, eco, diafonia, ancho de banda, punto de canto y efecto local.

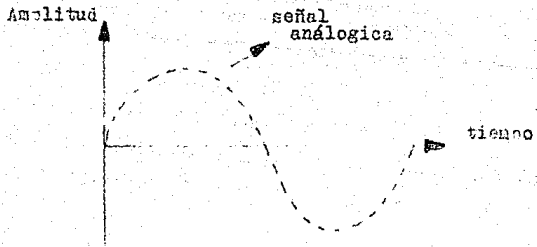
Medio de Transmision Fisico .-es el enlace mas conveniente de usar entre centrales con tipo de equipo analogico como son AGF, ARF, ARM y ABE.

La desventaja que presenta es que, despues de diez kms. de enlace rebasa el limite de atenuacion permitido.

Medio de Transmision PCM .- (Modulacion de Pulsos Codificados)

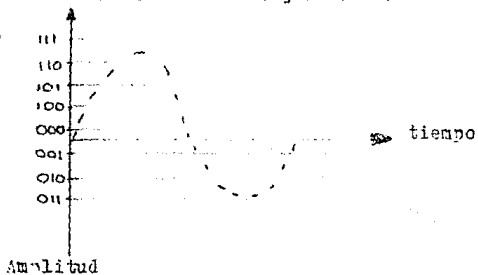
Su funcion es la Transmision de datos mediante la conversion de voz a pulsos codificados. PCM puede definirse como un metodo para transformar informacion analogica a digital. La conversion de la señal analogica a una digital esta basada en tres principios: Muestreo, Cuantificacion, y Codificacion.

Muestreo .- de acuerdo a la teoria de la informacion la transmision de la informacion contenida en una señal puede realizarse sin necesidad de transmitir la señal completa, es suficiente tomar muestras. Las muestras se toman de una señal de frecuencia vocal en intervalos de tiempo con la misma duracion. (miliseg.), ( Ver figura # 7).



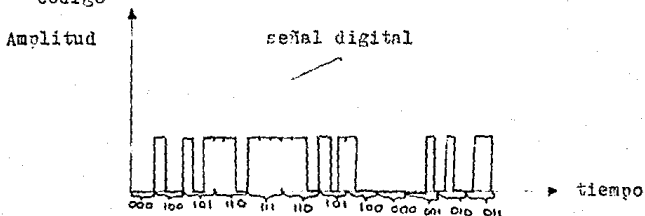
-FIGURA # 7 -

Cuantificación .- a todas las muestras cuyas amplitudes estan dentro de ciertos limites se les asigna el mismo valor en sistema binario.



-FIGURA # 8 -

Codificación .- finalmente las muestras cuantificadas se representan en sistema binario.  
codigo



- FIGURA # 9 -

Este medio de transmisión se acopla mejor con equipos digitales tales como el equipo AXE y Sistema-12. Una de las últimas adiciones a la tecnología de PCM es usar el cable de Fibra Óptica, el cual es un ensamble de 144 fibras, la parte central consiste de un núcleo con índice de refracción grande y la parte exterior de un revestimiento con un índice de refracción menor. Los cables de Fibra Óptica han sido utilizados en sistemas telefónicos urbanos, sistemas de comunicación submarina intercontinentales, sistemas de comunicación de datos, etc. .

Ventajas de utilización de Fibra Óptica:

- Es inmune a la interferencia electromagnética.
- No radia señales, ni tiene problemas de emisión de ruido.
- No es susceptible de diafonía.
- La potencia óptica transmitida es de 500 uw. (micro watts) que no produce descargas eléctricas en caso de ruptura del cable.
- No puede ser interferida.
- Sus bajas pérdidas de transmisión implican el no uso de repetidores.
- Pequeño tamaño, ligero, soporta temperaturas altas.

Desventajas de utilización de Fibra Óptica:

- Es una tecnología muy desarrollada que requiere de capacitación costosa del personal.
- Concentra demasiados canales para la transmisión de información (5 hilos x 1920 canales en cada cable) por lo tanto en

caso de ruptura quedarían sin servicio un gran número de usuarios.

- El material (silica) que se utiliza para su fabricación es muy costoso e importado.

Una vez presentados los aspectos generales de la Red Telefonica se hablará específicamente de la Red Telefonica del D.F. .



## I.5 ESTRUCTURA DE LA RED TELEFONICA EN EL D.F.

La Red Telefonica Urbana Metropolitana se encuentra constituida por ochenta centrales, las cuales se enlistan en la tabla # 1, con las siglas correspondientes.

Nombre del Tandem: Nextengo

Nombre de la Central	Siglas
Arboledas	Ar
Atzacapotzaco	At
Echegaray	Ec
Golfo	Go
San Mateo	Mt
Naucalpan	Na
Nextengo	Nx
Popotla	Pt
Rosario	Ra
Santa Maria	Sm
Satelite	St
Tacuba	Ta
Tlanabantla	Tl
Viveros	Ve

## Nombre del Tandem: Vallejo

Nombre de la Central Siglas

Azteca Az

Aragon Ag

Alta Villa Al

Atzacualco Az

Chamizal Cm

Ecatatepec Ea

Guadalupe Gu

Lago La

Lindavista Li

Santa Rosa Rs

Santa Clara Sc

Vallejo Vi

## Nombre del Tandem: Roma

Nombre de la Central Siglas

Bosques Bo

Chapultepec Ch

Chiapas Ci

Condesa Co

Morales Mo

Polanco Pl

Roma Ro

Santa Fe Sf

Sotelo So

Tecamachalco Te

Tacubaya Ty

Nombre del Tandem: Centro Telefónico

Nombre de la Central	Siglas
Apartado	Ap
Balbuena	Ba
Centro Telefónico	Ct
Doctores	Do
Ejercito de Oriente	Eo
Madrid	Ma
Moctezuma	Mc
Malinche	Ml
Nezahualcoyotl	Ne
Peralvillo	Pe
Parque Vía	Pv
Sabino	Sb
Tlatelolco	Tc
Torres	To
Viaducto	Vd
Victoria	Vi
Zaragoza	Za
Zocalo	Zo

Nombre del Tandem: Culhuacán

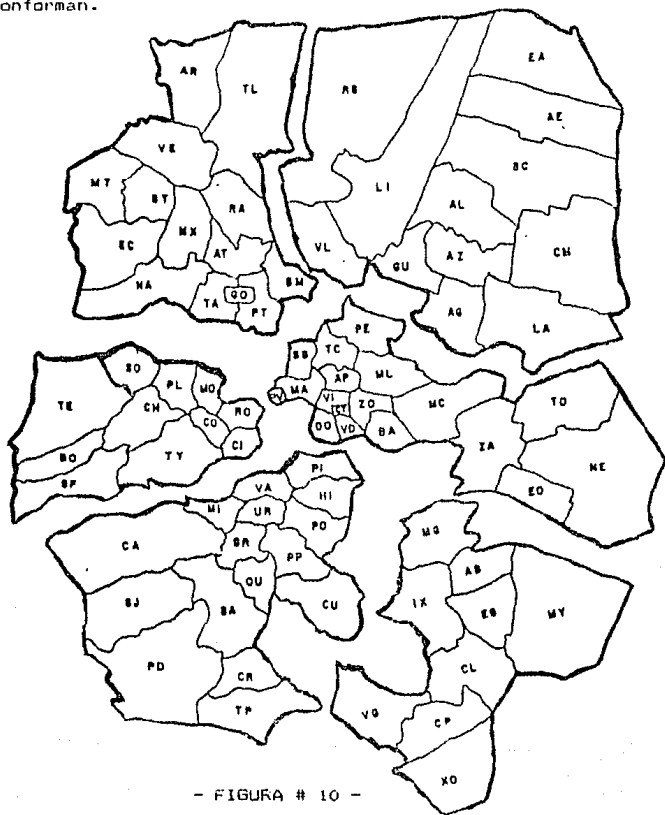
Nombre de la Central	Siglas
Abastos	Ab
Coapa	Cp
Culhuacán	Cl

- TABLA # 1 -

Estrella	Es
Ixtapalapa	Ix
Magdalena	Mg
Meyehualco	My
Xochimilco	Xo
Vergel	Vg
Nombre del Tandem: Popocatepetl	
Nombre de la Central	Siglas
Castafeda	Ca
Carrasco	Cr
Churubusco	Cu
Hidalgo	Hi
Mixcoac	Mi
Pedregal	Pd
Piedad	Pi
Portales	Po
Popocatepetl	Pp
Quevedo	Qu
San Angel	Sa
San Jeronimo	Sj
Saro	Sr
Tlalpan	Tp
Urraza	Ur
Valle	Va

- TABLA # 1 -

Estas centrales estan distribuidas en seis regiones. En cada region existe una central tandem la cual concentra y distribuye el tráfico telefonico de las centrales ubicadas en esa region. En el siguiente mapa se muestra cada region y las centrales que la conforman.



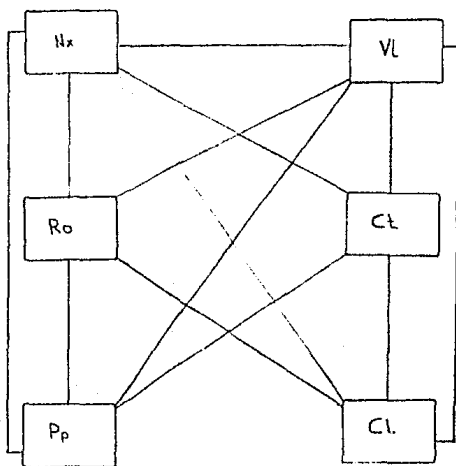
- FIGURA # 10 -

## II TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION FUENTE

Es importante mencionar que dentro de la Red Urbana Metropolitana existe una Red Intertandem de fibra optica cuya funcion es optimizar el flujo de trafico telefonico dentro de la red urbana. Esta red intertandem se encuentra constituida por las centrales tandem Nextengo, Vallejo, Roma, Centro Telefonico, Popocatepetl y Culhuacan.

Estas centrales tandem se encuentran enlazadas como se muestra en la figura # 11.

RED DE FIBRA OPTICA



- FIGURA # 11 -

## I.6 PROBLEMATICA DE LA RED TELEFONICA EN EL D.F.

Con el concepto de centrales tandem digitales surgió la problemática de diseñar una red digital intertandem que reuniera las características de calidad de transmisión, eficiencia y volumen necesarios para explotar las facilidades proporcionadas por equipos digitales, por esta razón se diseñó la red intertandem de fibra óptica (ver figura # 11) que enlaza los edificios que alojan las centrales tandem digitales de las seis áreas tandem de la Ciudad de México, entre sí.

Así mismo el respaldo al proyecto de la red de fibra óptica del área metropolitana entre edificios con centrales tandem no se había constituido en una necesidad por razones tales como la baja cantidad de canales transmitidos en las diferentes rutas. Debido al gran volumen de canales transmitidos (5 x 1920 canales por cable), se hace necesario el aseguramiento de la comunicación para que esta no se pierda en caso de rupturas en los medios de transmisión. Estas rupturas pueden deberse a efectos del tiempo, robos, daños causados por roedores o bien efectos naturales no controlables de movimientos telúricos.

Surge así la necesidad de asegurar la comunicación entre los equipos de conmutación tandem del área metropolitana en caso de emergencia. Este problema nos ocupará como objetivo principal. Se pretende entonces ofrecer una solución al problema mencionado.



mediante rutas alternas de respaldo de Fibra Óptica que enlacen a los equipos tandem entre si, en forma confiable y eficiente conformandose una red de seguridad diseñada con la tecnología avanzada tanto en el equipo, como en medios de transmisión al costo mas bajo posible.

Es importante mencionar las consideraciones de interes para Telefonos de Mexico S. A. en el diseño de esta Red Auxiliar.

- 1) Cualquiera de las centrales que conforman la red urbana pueden formar parte de la Red Auxiliar.
- 2) For razones de optimizacion se pueden proponer enlaces que no existan dentro de la red urbana metropolitana.
- 3) Cualquier enlace dentro de la red propuesta no debe exceder a los 40 kms. de longitud debido a que por atenuacion la tecnología de fibra optica existente, no permite enlaces de mayor longitud.

## II TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION FUENTE

El objetivo de este capítulo es plantear y desarrollar la metodología para el tratamiento de la información fuente de la Red Telefónica, para el diseño de la red auxiliar.

Esto es, nos interesa encontrar la distancia más corta entre todo par de centrales. Son dos propósitos los que perseguimos con este estudio; uno, hacer una comparación entre las distancias de rutas telefónicas existentes actualmente y las encontradas en nuestro estudio. Esta comparación arroja resultados interesantes para Telefonos de México. El segundo propósito es proporcionar los datos necesarios para calcular las rutas más cortas entre centrales tandem.

Este capítulo consta de tres secciones.

En la primera sección se analiza la información existente y se define un primer modelo para la estimación de la información fuente, analizándose sus ventajas y desventajas.

En la segunda sección se plantea un segundo modelo y se desarrolla un muestreo aleatorio simple para estimar los parámetros requeridos en este segundo modelo.

En la tercera sección se propone un tercer modelo que constituye una variación del enfoque del problema con respecto al segundo modelo.

En la cuarta sección se presenta un análisis comparativo entre el segundo y tercer modelos y se concluye que el tercer modelo proporciona datos más confiables.

En la quinta sección se realiza la estimación de la información fuente requerida mediante el tercer modelo propuesto.

## II.1.- ANALISIS DEL REGISTRO DE DISTANCIAS ENTRE CENTRALES TELEFONICAS.

En la informacion para el diseno de la red de seguridad una de las variables que se involucra, es la distancia entre cada par de centrales, es decir es necesario contar con una matriz de distancias.

Sin embargo la informacion registrada en Telefonos de Mexico no se encuentra completamente actualizada (ver tabla # 2).

Como se menciono anteriormente dentro del area metropolitana existen ochenta centrales. los enlases existentes registrados en Telefonos de Mexico entre cada par de centrales y su longitud de ruta asociada <sup>o sea km.</sup> se muestran en la tabla # 3. Las distancias entre todo par de centrales representan 360 enlases y unicamente se cuenta con un 21% de informacion. Esto nos llevo a pensar en un método para completar la matriz de distancias. Además que se tiene la alternativa de proponer enlases no existentes en el diseno de la red auxiliar.

Por otra parte no se tiene la certeza de que estas distancias correspondan a rutas mas cortas.

TABLA DE LONGITUD DE FUERTE REGISTRADA EN

ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA
AB-CL	8.2	AB-LA	25.7	AB-VI	11.1
AB-ES	2.1	AB-ML	24.1	AB-VO	11.0
AB-MY	8.8	AB-PP	6.7	AB-RO	18.5
AB-VA	14.8	AB-VI	20.0	AB-VL	17.3
AE-CL	43.4	AE-CO	30.7	AE-CT	18.7
AE-MO	32.0	AE-RO	47.0	AE-VI	28.3
AE-VL	20.1	AG-RA	1.8	AG-CL	11.6
AG-CM	8.1	AG-UI	8.4	AG-RO	11.6
AG-EO	23.5	AG-VI	22.0	AG-VA	4.7
AG-ML	5.0	AG-ML	4.2	AG-VO	22.9
AG-PE	3.3	AG-PP	18.5	AG-RO	11.1
AG-TE	20.7	AG-VI	7.9	AG-VL	15.8
AP-MA	2.7	AP-ML	2.3	AP-PE	3.7
AP-SB	3.0	AP-TC	1.4	AP-VO	3.0
AR-AZ	31.5	AR-CT	21.0	AR-EO	14.5
AR-BO	14.2	AR-LA	26.5	AR-MY	41.6
AR-NA	18.2	AR-NE	38.8	AR-PP	18.2
AR-FT	15.2	AR-SC	17.7	AR-TL	3.7
AR-UR	25.7	AR-VI	21.0	AR-VL	21.4
AT-RA	3.9	AT-SB	4.6	AT-VO	11.0
AT-ST	7.1	AT-TL	7.6	AT-VO	15.3
AZ-CT	11.2	AZ-GO	17.0	AZ-RO	1.1
AZ-IX	24.8	AZ-MG	12.5	AZ-VO	25.7
AZ-PO	21.6	AZ-SL	16.1	BA-TE	27.6
AZ-UR	17.9	BA-CH	10.4	BA-VO	20.8
BA-CT	5.6	BA-DO	3.7	BA-ML	2.7
BA-FI	4.1	BA-PP	15.7	BA-VI	5.1
BA-VL	13.2	BA-VO	6.4	BA-VO	11.6
BO-CH	6.2	BO-CL	27.6	BO-RO	13.0
BO-CR	29.7	BO-CT	16.1	BO-RO	14.6
BO-FP	20.4	BO-RO	12.4	BO-SL	3.4
BO-SO	9.6	BO-VL	26.1	CA-CL	13.7
CA-CO	11.2	CA-CP	18.5	CA-CR	14.6
CA-CT	12.1	CA-ES	15.7	CA-ML	2.1
CA-NA	19.6	CA-NE	26.4	CA-PP	5.3
CA-RO	9.7	CA-SA	3.2	CA-SO	8.5
CA-TE	19.3	CA-TF	16.3	CA-VA	3.5
CA-VI	11.7	CA-VL	18.9	CH-CL	7.2
CH-CL	22.2	CH-CO	5.6	CH-CT	9.9
CH-CU	17.3	CH-IX	16.3	CH-MA	10.9
CH-MC	15.1	CH-MO	4.3	CH-PP	14.8
CH-RO	6.2	CH-SA	17.3	CH-SF	1.2
CH-SO	3.2	CH-ST	22.4	CH-TE	3.4
CH-TL	22.6	CH-TY	5.8	CH-VA	12.8
CH-VE	25.7	CH-VI	9.4	CH-VL	14.5
CI-CL	17.4	CI-CO	1.7	CI-CP	20.6
CI-CR	19.3	CI-CT	6.5	CI-DO	2.6
CI-MA	3.4	CI-MO	4.1	CI-PI	2.9

- TABLA # 2 -

TABLA DE LONGITUD DE RUTA REGISTRADA (LRF)

ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA
CI-FF	10.0	CI-QU	12.6	CI-RO	1.4
CI-SC	21.5	CI-ST	17.6	CI-TL	17.8
CI-TY	3.2	CI-VA	3.1	CI-VE	20.9
CI-VI	4.6	CI-VL	9.7	CL-CM	31.7
CL-CO	17.5	CL-CF	5.2	CL-CR	17.5
CL-EC	29.5	CL-IX	4.5	CL-LA	28.3
CL-LI	23.6	CL-MA	16.3	CL-MC	20.1
CL-MG	8.2	CL-MI	12.6	CL-ML	20.1
CL-MY	10.6	CL-PP	8.2	CL-PT	23.3
CL-QU	10.8	CL-SF	26.3	CL-SJ	16.7
CL-TY	19.6	CL-VA	12.5	CL-VD	18.1
CL-VE	35.9	CL-VL	22.5	CL-XO	8.8
CL-ZA	24.3	CM-CO	23.5	CM-CT	16.5
CM-LA	3.4	CM-PP	31.5	CM-RO	22.0
CM-VI	16.0	CM-VL	13.7	CO-CR	19.4
CO-CT	5.2	CO-EO	20.0	CO-MA	7.7
CO-MI	9.1	CO-MO	3.2	CO-PP	10.1
CO-RO	1.5	CO-SF	11.8	CO-TY	5.1
CO-VA	3.5	CO-VE	26.9	CO-VI	4.7
CO-VL	9.8	CP-CT	21.7	CF-CU	8.1
CP-ES	11.2	CP-BO	25.1	CP-BU	28.8
CP-MA	22.7	CP-MC	26.9	CP-PP	13.4
CP-RO	21.2	CP-SJ	23.3	CP-TE	28.6
CP-UR	14.0	CP-VI	21.2	CP-VL	28.4
CR-XO	3.6	CR-CT	17.8	CR-EO	32.9
CR-ES	23.5	CR-MI	13.7	CR-ML	22.2
CR-MO	20.7	CR-PP	9.3	CR-QU	11.9
CR-RO	16.7	CR-SJ	7.8	CR-TY	21.5
CR-VA	14.1	CR-VI	18.3	CR-ZA	27.6
CT-AP	2.4	CT-CL	14.5	CT-CU	13.6
CT-DO	1.1	CT-EA	24.2	CT-EC	14.3
CT-EO	15.1	CT-ES	20.5	CT-GO	6.5
CT-HI	5.4	CT-IX	10.5	CT-LA	13.1
CT-LI	8.4	CT-MA	1.8	CT-MC	5.6
CT-MG	8.8	CT-MI	10.1	CT-ML	3.0
CT-MO	5.2	CT-MT	16.3	CT-MY	23.0
CT-NA	10.3	CT-NE	15.5	CT-PD	18.5
CT-FE	5.7	CT-PO	7.6	CT-PP	8.5
CT-PT	8.1	CT-QU	10.5	CT-RA	18.1
CT-RO	2.6	CT-RS	13.2	CT-SA	13.6
CT-SB	4.0	CT-SC	17.4	CT-SF	13.7
CT-SJ	17.0	CT-SO	8.5	CT-ST	17.4
CT-TC	3.3	CT-TE	13.0	CT-TL	17.6
CT-TF	21.5	CT-TY	6.4	CT-UR	6.8
CT-UR	7.7	CT-VD	3.6	CT-VE	20.7
CT-VI	0.5	CT-VL	8.4	CT-XO	25.3
CT-ZA	9.8	CU-GO	17.0	CU-IX	4.3
CU-NA	21.0	CU-PI	8.2	CU-PO	4.1

- TABLA # 2 -

TABLA DE LONGITUD DE RUTA REGISTRADA (LRF)

ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA
CU-QU	2.8	CU-SF	4.0	CU-TE	20.1
CU-TP	7.9	DU-MA	2.7	DU-PI	2.1
EA-GU	19.9	EA-LI	31.6	EA-SC	6.8
EA-TL	20.6	EA-VL	31.6	EC-MO	15.9
EC-NA	3.5	EC-PF	21.7	EC-RO	13.1
EC-ST	3.1	EC-TL	17.7	EC-UR	18.3
EC-VI	13.8	EO-MA	16.9	EO-MC	20.7
EO-MI	24.3	EO-MO	20.3	EO-PF	23.6
EO-RO	18.8	EO-SF	28.8	EO-SJ	32.1
EO-VA	23.3	EO-VI	15.6	EO-ZA	4.9
ES-CH	15.7	ES-UL	6.0	ES-CU	6.8
ES-HI	8.5	ES-IX	4.3	ES-MY	4.8
ES-PD	22.0	ES-FO	6.6	ES-PF	8.3
ES-QU	18.6	ES-RO	16.4	ES-SJ	22.7
ES-TF	25.0	ES-VA	12.6	ES-VL	28.5
ES-XO	14.8	GO-AT	2.9	GO-CH	5.7
GO-CL	21.9	GO-EC	7.2	GO-IX	18.0
GO-LA	19.2	GO-MA	5.3	GO-MC	12.3
GO-MG	15.7	GO-MI	13.5	GO-MO	3.1
GO-NA	4.0	GO-NE	21.6	GO-RO	21.9
GO-PD	14.8	GO-PF	14.5	GO-TT	1.0
GO-RA	6.4	GO-RO	5.9	GO-RS	9.8
GO-SA	17.0	GO-SB	3.4	GO-SC	23.5
GO-SM	3.9	GO-SO	4.0	GO-ST	9.8
GO-TA	1.2	GO-TL	10.5	GO-TP	24.9
GO-TY	7.6	GO-UR	10.5	GO-VE	13.6
GO-VL	5.7	GO-ZA	16.3	GU-NA	18.2
GU-NE	22.6	GU-FE	1.9	GU-SF	24.2
GU-ST	24.5	GU-TL	24.7	GU-UR	14.8
HI-MG	3.3	HI-PI	2.3	HI-PO	2.5
IX-LA	26.7	IX-MY	8.4	IX-NA	22.0
IX-FE	19.8	IX-PI	7.7	IX-PO	3.6
IX-SC	31.0	IX-TE	21.7	IX-TL	28.5
IX-VL	22.0	LA-MG	21.7	LA-MO	17.5
LA-NA	23.2	LA-NE	22.9	LA-PF	23.2
LA-RO	15.8	LA-SC	9.5	LA-VI	12.6
LA-VL	12.3	LI-FE	4.1	LI-PF	18.5
LI-RO	11.1	LI-UR	15.1	MA-MO	3.4
MA-PF	12.1	MA-FV	1.6	MA-SB	2.8
MA-SC	18.4	MA-TC	3.5	MA-TP	22.5
MA-VE	21.7	MA-VI	1.5	MA-VL	10.6
MA-ZO	3.6	MC-MG	4.9	MC-NA	16.3
MC-NE	9.7	MC-PF	15.8	MC-RO	9.0
MC-SC	22.6	MC-TL	22.8	MC-UR	12.9
MC-VL	14.4	MC-ZA	4.0	MC-ZO	3.3
MG-NA	19.7	MG-VL	17.0	MI-NE	24.3
MI-PF	4.5	MI-RO	7.6	MI-SF	7.9
MI-SR	2.7	MI-TY	3.1	MI-VA	3.2

- TABLA # 2 -

TABLA DE LONGITUD DE RUTA REGISTRADA (LRR)

ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA
MI-VI	9.6	MI-VL	16.8	ML-MO	8.8
ML-VI	3.9	ML-VL	13.2	ML-ZA	13.6
ML-ZO	2.0	MO-CL	18.1	MO-FF	11.4
MO-RO	2.8	MO-SF	13.1	MO-SJ	17.3
MO-SO	4.3	MO-TA	2.8	MO-VA	9.4
MO-VL	11.1	MO-ZA	14.6	MT-VI	16.8
MT-VL	15.3	MY-CA	19.8	NY-NE	7.5
MY-PP	18.8	MY-SJ	24.6	MY-UR	15.3
MY-VI	22.5	NY-VI	26.3	NA-FE	16.3
NA-FO	18.8	NA-SC	27.5	NA-SO	2.6
NA-TL	14.5	NA-UR	15.1	NA-ZA	20.3
NE-LI	22.9	NE-RA	33.2	NE-RO	18.2
NE-SJ	32.1	NE-TL	32.1	NE-UR	22.2
NE-VI	15.0	NE-VL	22.9	NE-ZA	5.8
PD-PP	14.2	PD-RA	35.7	PD-SA	4.9
PD-TP	7.3	PD-UR	10.8	PD-VI	18.0
PE-SC	11.2	PE-SF	22.3	PE-SM	4.6
PE-ST	22.6	PE-TC	3.1	PE-TL	22.8
PE-UR	12.9	PE-ZO	5.0	PI-FO	4.6
PI-VA	3.8	PI-ZO	4.3	PO-SC	27.8
PO-SK	4.5	FO-ST	25.1	FO-TE	18.5
PO-VA	4.4	FO-ZA	20.6	PF-CU	3.1
FP-HI	6.3	FP-FT	15.1	FP-QU	2.6
FP-RO	8.6	FP-SF	18.9	FP-SJ	8.5
FP-SR	2.0	FP-TP	18.6	FP-TY	12.2
FP-VA	4.8	FP-VE	28.1	FP-VI	10.6
FP-VL	17.8	FP-ZA	20.3	PT-RO	6.9
PT-VI	7.6	PT-VL	5.2	QU-CA	6.9
QU-RO	11.2	QU-SA	2.7	QU-SR	2.4
QU-VA	7.4	QU-VL	20.4	RA-TL	4.2
RO-AT	8.2	RO-BA	6.0	RO-CL	16.0
RO-DO	2.3	RO-HI	5.9	RO-NA	8.6
RO-FI	4.1	RO-SA	9.6	RO-SB	4.0
RO-SC	20.1	RO-SF	10.3	RO-SO	7.8
RO-SR	7.8	RO-TE	9.4	RO-TL	16.4
RO-TP	19.0	RO-TY	3.6	RO-UR	5.2
RO-VA	4.1	RO-VD	7.0	RO-VE	19.5
RO-VI	3.2	RO-VL	8.3	RO-ZA	12.9
RS-TL	4.9	RS-VI	12.3	RS-VL	4.4
SA-ES	17.1	SA-FO	7.8	SA-SJ	3.4
SA-SR	4.0	SA-TF	19.7	SA-TY	6.6
SA-VA	6.7	SB-SM	3.0	SB-TC	2.8
SC-TL	14.0	SC-UR	24.1	SC-VI	16.9
SC-VL	14.2	SF-UR	8.6	SF-VI	16.6
SF-VL	18.3	SJ-CO	16.0	SJ-TE	24.1
SJ-VI	16.5	SO-VI	17.6	SO-VL	11.6
SR-TY	5.7	SE-VA	3.1	ST-MA	18.4
ST-TA	9.2	ST-UR	21.4	ST-VI	16.9

- TABLA # 2 -

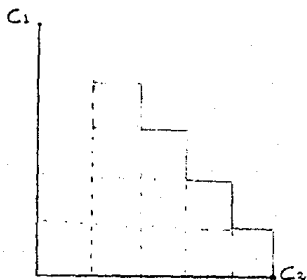


TABLA DE LONGITUD DE RUTA REGISTRADA (Kms)

ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA	ENLACE	LONGITUD DE RUTA
TE-VE	29.1	TE-VI	12.8	TL-UR	21.8
TL-VE	4.4	TL-VI	17.1	TL-ZA	27.4
TP-UR	13.8	TP-VL	21.0	TP-XO	9.6
TY-VA	2.9	TY-VL	11.9	UR-AF	9.0
UR-BA	9.2	UR-CA	4.5	UR-CH	9.4
UR-CI	4.1	UR-CL	11.1	UR-CO	4.7
UR-CU	5.9	UR-DO	6.0	UR-HI	4.7
UR-IX	6.9	UR-LA	19.8	UR-MG	8.2
UR-MI	2.4	UR-MO	7.5	UR-FI	5.4
UR-PO	3.7	UR-PF	2.4	UR-QU	4.4
UR-SA	5.9	UR-SR	2.0	UR-TY	3.6
UR-VA	1.4	UR-VE	24.7	UR-VL	14.4
UR-XO	17.6	UR-ZA	16.9	VA-VL	15.8
VA-XO	19.0	VD-VI	4.1	VE-VI	20.1
VI-AF	2.1	VI-AT	8.8	VI-CL	15.7
VI-CU	11.0	VI-DO	1.6	VI-ES	18.4
VI-GO	6.6	VI-GU	7.1	VI-HI	5.8
VI-IX	10.7	VI-LI	7.9	VI-MC	5.7
VI-MO	4.7	VI-PE	5.7	VI-FI	3.6
VI-PO	8.0	VI-SB	4.0	VI-SM	6.6
VI-SR	9.1	VI-TC	2.8	VI-TF	21.0
VI-TY	6.5	VI-UR	7.2	VI-VA	5.9
VI-VL	7.9	VI-XO	24.8	VI-XZ	24.1
VI-ZA	9.4	VI-ZO	2.4	VL-AZ	7.2
VL-GU	4.3	VL-LI	3.8	VL-PE	4.2
VL-SB	4.4	VL-SM	2.4	VL-ZA	17.6

### II.1.1 PRIMER MODELO LATITUD-LONGITUD PARA LA ESTIMACION DE DISTANCIAS ENTRE CENTRALES TELEFONICAS.

Con objeto de disponer de una tabla de referencia completa respecto a las distancias entre todo par de centrales se establecio a partir de la ubicacion geografica de centrales (representada en la tabla # 3), la primera estimacion de distancias. Es importante mencionar que la canalizacion para efectuar el enlace entre centrales sigue la guia de calles y/o avenidas. Supongase que el trazado de calles y/o avenidas fuera un trazado "regular", ver figura # 12.



- FIGURA # 12 -

Entonces la distancia quedaria determinada por la suma de catetos.

TABLA DE COORDENADAS GEOGRAFICAS

SIGLAS	LONGITUD	LATITUD
AB	99 ° 4 50 "	19 ° 22 10 "
AE	99 ° 2 10 "	19 ° 22 50 "
AG	99 ° 5 50 "	19 ° 27 40 "
AL	99 ° 5 30 "	19 ° 30 15 "
AF	99 ° 8 15 "	19 ° 26 40 "
AR	99 ° 12 50 "	19 ° 33 30 "
AT	99 ° 11 0 "	19 ° 28 55 "
AZ	99 ° 6 5 "	19 ° 29 5 "
BA	99 ° 5 50 "	19 ° 25 0 "
BO	99 ° 14 30 "	19 ° 24 20 "
CA	99 ° 11 40 "	19 ° 22 0 "
CH	99 ° 12 40 "	19 ° 25 40 "
CI	99 ° 9 40 "	19 ° 24 50 "
CL	99 ° 6 30 "	19 ° 19 30 "
CM	99 ° 3 10 "	19 ° 29 30 "
CO	99 ° 10 20 "	19 ° 24 59 "
CP	99 ° 7 10 "	19 ° 17 30 "
CR	99 ° 10 45 "	19 ° 16 15 "
CT	99 ° 8 40 "	19 ° 25 50 "
CU	99 ° 8 40 "	19 ° 20 30 "
DO	99 ° 8 40 "	19 ° 25 15 "
EA	99 ° 2 20 "	19 ° 35 0 "
EC	99 ° 13 50 "	19 ° 29 10 "
ED	99 ° 2 10 "	19 ° 23 5 "
ES	99 ° 5 0 "	19 ° 21 30 "
GO	99 ° 11 0 "	19 ° 27 30 "
GU	99 ° 7 15 "	19 ° 28 55 "
HI	99 ° 8 5 "	19 ° 23 30 "
IX	99 ° 7 15 "	19 ° 22 40 "
LA	99 ° 3 55 "	19 ° 28 0 "
LI	99 ° 7 50 "	19 ° 29 40 "
MA	99 ° 9 15 "	19 ° 26 0 "
MC	99 ° 5 50 "	19 ° 25 30 "
MG	99 ° 6 20 "	19 ° 23 10 "
MI	99 ° 11 10 "	19 ° 22 40 "
ML	99 ° 7 0 "	19 ° 26 30 "
MO	99 ° 11 0 "	19 ° 26 15 "
MT	99 ° 15 20 "	19 ° 30 40 "
MY	99 ° 3 0 "	19 ° 21 0 "
NA	99 ° 13 0 "	19 ° 26 50 "
NE	99 ° 1 40 "	19 ° 23 50 "
NX	99 ° 12 40 "	19 ° 29 30 "
PD	99 ° 12 40 "	19 ° 19 0 "
PE	99 ° 7 30 "	19 ° 28 10 "
PI	99 ° 8 25 "	19 ° 24 30 "
PL	99 ° 11 30 "	19 ° 26 10 "

- TABLA # 3 -

TABLA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

SIGLAS	LONGITUD	LATITUD
FO	99 ° 8 15 "	19 ° 21 10 "
FP	99 ° 9 30 "	19 ° 21 50 "
FT	99 ° 10 50 "	19 ° 21 40 "
FV	99 ° 10 0 "	19 ° 26 0 "
QU	99 ° 10 5 "	19 ° 20 50 "
RA	99 ° 11 20 "	19 ° 20 40 "
RO	99 ° 9 50 "	19 ° 25 20 "
RS	99 ° 9 50 "	19 ° 21 10 "
SA	99 ° 11 30 "	19 ° 20 50 "
SB	99 ° 9 30 "	19 ° 27 10 "
SC	99 ° 3 55 "	19 ° 22 10 "
SF	99 ° 14 40 "	19 ° 23 10 "
SJ	99 ° 12 40 "	19 ° 20 0 "
SM	99 ° 9 40 "	19 ° 28 15 "
SO	99 ° 12 50 "	19 ° 26 50 "
SR	99 ° 10 15 "	19 ° 21 50 "
ST	99 ° 14 0 "	19 ° 30 30 "
TA	99 ° 11 30 "	19 ° 27 40 "
TC	99 ° 8 15 "	19 ° 27 15 "
TE	99 ° 14 0 "	19 ° 25 30 "
TL	99 ° 11 45 "	19 ° 21 40 "
TD	99 ° 0 50 "	19 ° 25 15 "
TP	99 ° 10 0 "	19 ° 17 10 "
TY	99 ° 11 0 "	19 ° 24 10 "
UR	99 ° 10 0 "	19 ° 23 0 "
VA	99 ° 9 50 "	19 ° 23 30 "
VD	99 ° 7 50 "	19 ° 24 50 "
VE	99 ° 10 2 "	19 ° 31 50 "
VG	99 ° 7 50 "	19 ° 18 15 "
VI	99 ° 8 40 "	19 ° 25 55 "
VL	99 ° 9 15 "	19 ° 29 10 "
XD	99 ° 6 40 "	19 ° 15 50 "
ZA	99 ° 4 0 "	19 ° 24 0 "
ZO	99 ° 7 30 "	19 ° 25 55 "

La primera estimación realizada consiste en determinar la distancia entre dos centrales por medio del cálculo de la suma de catetos, uniendo las centrales como puntos de un plano cartesiano, en el cual se localizan la latitud y longitud de cada central. Así tenemos el siguiente planteamiento:

Dadas las centrales C1 y C2 ubicadas por su latitud y longitud  $C1 = (Ln1, Lo1)$  y  $C2 = (Ln2, Lo2)$  se tiene que la distancia entre ellas (Dug) se calcula de la siguiente manera:

$$Dug (C1, C2) = |Ln1 - Ln2| + |Lo1 - Lo2| .$$

Dado que la ubicación geográfica de las centrales está determinada en términos de latitud y longitud, se realiza la transformación de grados, minutos y segundos a kilómetros. Un grado de latitud equivale a 128 kms. (46148 km., la circunferencia de la tierra divididos entre 360). Esa medida es igual en cualquier parte de la superficie de la tierra ya que las líneas de latitud son todas paralelas y equidistantes. Sin embargo las líneas de la longitud convergen gradualmente hacia los polos y la distancia entre ellas se hace cada vez menor. Como el D.F. se encuentra a 19° de latitud se tiene que 1° de longitud equivale a 105.05448 kms. (1)  
(1) Por lo que las coordenadas geográficas de las centrales se transformaron a kms. mediante las siguientes equivalencias.

---

(1) Historia del Globo Terráqueo, Mercedes Guyetta.  
Ed. Repliegue Globes.

Latitud

1° = 128.0000 kms.

1' = 2.1333 kms.

1" = 0.0400 kms.

Longitud

1° = 105.05448 kms.

1' = 1.75090 kms.

1" = 0.02981 kms.

La representacion geografica de la tabla # 3 en el plano cartesiano se realizo como se ejemplifica a continuacion.

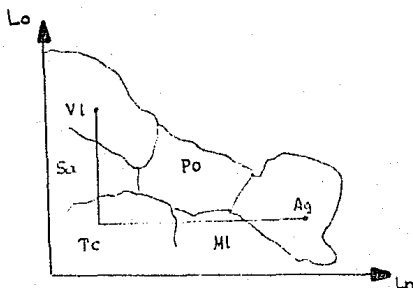
Sea:

C1 = Central VI con Latitud Norte (Ln1) =  $19^{\circ} 29' 10''$   
= 2806.0 kms.

Longitud Oeste (Lo1) =  $99^{\circ} 09' 15''$   
= 10640.8 kms.

y C2 = Central Ag con Latitud Norte (Ln2) =  $19^{\circ} 27' 40''$   
= 2802.4 kms.

Longitud Oeste (Lo2) =  $99^{\circ} 05' 50''$   
= 10637.5 kms.



- FIGURA # 13 -

Para el cálculo de Dug se procedió a la captura de la tabla de coordenadas geográficas, se diseñó el programa 1 del anexo II obteniéndose la Matriz de distancias calculadas (Dug) entre cada par de centrales. Esta matriz se muestra en la tabla # 4. Las distancias calculadas, de esta tabla están dadas en kms. .

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (DUG)  
(Lon Loordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
AE-AB	30.22	AG-AB	14.93	AG-AE	18.76
AL-AB	20.56	AL-AE	11.98	AL-AG	6.78
AF-AB	16.71	AF-AE	25.35	AF-AG	6.59
AF-AL	13.37	AR-AB	41.07	AR-AE	20.10
AR-AG	26.14	AR-AL	20.52	AR-AP	24.35
AT-AB	26.89	AT-AE	34.72	AT-AG	11.96
AT-AL	12.74	AT-AP	10.17	AT-AR	14.18
AZ-AB	18.77	AZ-AE	15.79	AZ-AG	3.63
AZ-AL	3.81	AZ-AP	9.56	AZ-AR	22.30
AZ-AT	8.93	BA-AB	8.53	BA-AE	25.16
BA-AG	6.40	BA-AL	13.18	BA-AP	8.19
BA-AR	32.54	BA-AT	18.36	BA-AZ	10.23
BO-AB	21.96	BO-AE	41.79	BO-AG	23.03
BO-AL	29.81	BO-AP	16.44	BO-AR	24.89
BO-AT	17.07	BO-AZ	25.77	BO-BA	16.63
CA-AB	12.25	CA-AE	42.47	CA-AG	23.71
CA-AL	30.49	CA-AP	17.12	CA-AR	29.62
CA-AT	17.76	CA-AZ	26.68	CA-BA	17.32
CA-BO	10.51	CH-AB	21.98	CH-AE	35.41
CH-AG	16.65	CH-AL	23.43	CH-AP	10.06
CH-AR	19.09	CH-AT	10.69	CH-AZ	19.62
CH-BA	13.45	CH-BO	6.38	CH-CA	10.53
CI-AB	14.78	CI-AE	32.20	CI-AG	13.45
CI-AL	20.23	CI-AP	6.86	CI-AR	26.29
CI-AT	12.11	CI-AZ	16.41	CI-BA	7.05
CI-BO	9.58	CI-CA	10.27	CI-CH	7.20
CL-AB	9.29	CL-AE	39.51	CL-AG	20.76
CL-AL	27.53	CL-AP	20.23	CL-AR	44.58
CL-AT	30.40	CL-AZ	23.72	CL-BA	14.36
CL-BO	25.47	CL-CA	14.96	CL-CH	25.49
CL-CI	18.29	CM-AB	20.49	CM-AE	9.73
CM-AG	9.02	CM-AL	5.85	CM-AP	15.61
CM-AR	26.36	CM-AT	14.98	CM-AZ	6.06
CM-BA	15.42	CM-BO	32.05	CM-CA	32.74
CM-CH	25.67	CM-CI	22.47	CM-CL	29.78
CO-AB	16.30	CO-AE	33.00	CO-AG	14.24
CO-AL	21.02	CO-AP	7.65	CO-AR	24.78
CO-AT	19.60	CO-AZ	17.21	CO-BA	7.84
CO-BO	8.79	CO-CA	9.47	CO-CH	5.69
CO-CI	1.52	CO-CL	19.81	CO-CM	23.27
CP-AB	15.25	CP-AE	45.47	CP-AG	26.71
CP-AL	33.49	CP-AP	23.88	CP-AR	48.23
CP-AT	34.05	CP-AZ	29.68	CP-BA	20.31

- TABLA # 4 -



MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
(Con Coordenadas Geográficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
CF-BO	29.12	CF-CH	18.60	CF-CH	27.14
CF-CI	21.94	CF-CL	5.96	CF-CM	35.74
CF-CO	23.45	CR-AB	19.66	CF-AE	49.86
CR-AG	31.13	CR-AL	37.50	CF-AF	24.54
CR-AF	40.21	CR-AT	26.02	CR-AE	34.09
CR-BA	24.73	CR-BO	21.10	CR-CH	10.51
CR-CH	21.12	CR-CI	17.66	CR-CL	10.57
CR-CM	40.15	CR-CO	18.88	CR-CF	6.01
CT-AB	15.45	CT-AE	28.07	CT-AG	5.31
CT-AL	16.09	CT-AF	2.72	CT-AR	25.65
CT-AT	11.45	CT-AZ	12.28	CT-BA	6.91
CT-BO	13.71	CT-CA	14.40	CT-CH	7.34
CT-CI	4.13	CT-CL	18.96	CT-CM	16.34
CT-CO	4.93	CT-CF	22.60	CT-CR	21.81
CU-AB	10.65	CU-AE	40.87	CU-AG	12.11
CU-AL	28.89	CU-AF	15.52	CU-AR	38.42
CU-AT	24.25	CU-AZ	25.08	CU-BA	15.71
CU-BO	19.32	CU-CA	8.80	CU-CH	19.34
CU-CI	12.13	CU-CL	6.16	CU-CM	31.14
CU-CO	13.65	CU-CF	9.80	CU-CR	9.31
CU-CT	12.80	DO-AB	14.05	DO-AE	29.47
DO-AG	10.71	DO-AL	17.49	DO-AF	4.12
DO-AR	27.02	DO-AT	12.85	DO-AZ	13.68
DO-BA	5.51	DO-BO	12.22	DO-CA	13.06
DO-CH	7.94	DO-CI	2.73	DO-CL	17.36
DO-CM	19.74	DO-CO	2.53	DO-CF	11.23
DO-CR	20.41	DO-CT	1.40	DO-CU	11.40
EA-AB	35.13	EA-AE	5.49	EA-AG	23.67
EA-AL	16.89	EA-AF	30.26	EA-AR	21.81
EA-AT	29.63	EA-AZ	20.70	EA-BE	30.07
EA-BO	46.70	EA-CA	47.38	EA-CH	40.32
EA-CI	37.12	EA-CL	44.43	EA-CM	14.65
EA-CO	37.91	EA-CF	50.38	EA-CR	54.79
EA-CT	32.98	EA-CU	45.78	EA-DO	34.36
EC-AB	32.41	EC-AE	29.03	EC-AG	17.47
EC-AL	17.05	EC-AF	15.66	EC-AR	12.13
EC-AT	5.51	EC-AZ	13.64	EC-BA	23.87
EC-BO	12.76	EC-CA	20.96	EC-CH	10.42
EC-CI	17.63	EC-CL	35.92	EC-CM	19.30
EC-CO	16.11	EC-CF	39.56	EC-CR	31.53
EC-CT	16.96	EC-CU	29.76	EC-DO	16.36
EC-EA	33.94	EO-AB	6.82	EO-AE	23.40
EO-AG	17.36	EO-AL	22.98	EO-AF	19.15

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
EO-AR	43.50	EO-AT	29.32	EO-AZ	31.19
EO-BA	10.96	EO-BO	24.39	EO-CA	19.07
EO-CH	24.41	EO-CI	17.20	EO-CL	16.11
EO-CM	17.13	EO-CO	18.72	EO-CF	22.07
EO-CR	26.46	EO-CU	17.87	EO-CU	17.47
EO-DO	16.47	EO-EA	26.89	EO-EC	34.83
ES-AB	1.89	ES-AE	32.11	ES-AG	16.25
ES-AL	21.67	ES-AF	16.04	ES-AH	42.38
ES-AT	28.20	ES-AZ	20.08	ES-BA	9.65
ES-BO	25.27	ES-CA	12.76	ES-CH	23.29
ES-CI	16.09	ES-CL	7.40	ES-CM	22.38
ES-CO	17.61	ES-CF	10.36	ES-CR	17.77
ES-CT	16.76	ES-CU	8.75	ES-DO	15.36
ES-EA	37.02	ES-EC	33.72	ES-EO	6.71
GO-AB	20.49	GO-AE	28.12	GO-AG	9.26
GO-AL	16.14	GO-AF	6.77	GO-AR	17.58
GO-AT	3.40	GO-AZ	12.33	GO-BA	14.96
GO-BO	13.67	GO-CA	14.36	GO-CH	7.29
GO-CI	8.11	GO-CL	27.00	GO-CM	18.38
GO-CO	7.20	GO-CF	30.65	GO-CR	22.63
GO-CT	6.05	GO-CU	20.85	GO-DO	9.45
GO-EA	23.93	GO-EC	8.91	GO-EO	28.92
GO-ES	24.80	GO-AB	20.39	GO-AE	18.21
GO-AG	5.46	GO-AL	6.23	GO-AF	7.13
GO-AR	20.68	GO-AT	6.50	GO-AZ	2.42
GO-BA	11.86	GO-BO	23.57	GO-CA	24.26
GO-CH	17.19	GO-CI	13.99	GO-CL	23.90
GO-CM	8.48	GO-CO	14.79	GO-CP	27.54
GO-CR	31.67	GO-CT	9.86	GO-CU	22.66
GO-DO	11.26	GO-EA	23.13	GO-EC	12.02
GO-EO	22.81	GO-ES	21.70	GO-EO	9.90
HI-AB	8.84	HI-AE	32.66	HI-AG	13.90
HI-AL	20.68	HI-AF	7.89	HI-AR	32.24
HI-AT	16.06	HI-AZ	16.87	HI-BA	7.50
HI-BO	13.13	HI-CA	9.81	HI-CH	13.15
HI-CI	5.95	HI-CL	12.35	HI-CM	22.93
HI-CO	7.46	HI-CF	15.99	HI-CR	17.22
HI-CT	6.61	HI-CU	8.21	HI-DO	5.21
HI-EA	37.57	HI-EC	23.57	HI-EO	11.26
HI-ES	10.15	HI-EO	14.66	HI-GU	14.45
IX-AB	5.39	IX-AE	33.21	IX-AG	14.46
IX-AL	21.23	IX-AF	11.33	IX-AR	35.68
IX-AT	21.50	IX-AZ	17.42	IX-BA	8.96

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
(Con Coordenadas Geográficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
IX-BO	16.57	IX-CA	9.26	IX-CH	16.59
IX-CI	9.39	IX-CL	8.90	IX-CN	23.46
IX-CO	10.91	IX-CP	12.54	IX-CR	16.67
IX-CT	10.06	IX-CU	7.66	IX-DO	8.66
IX-EA	38.13	IX-EC	27.02	IX-EO	9.61
IX-ES	6.70	IX-EO	18.10	IX-GO	15.00
IX-HI	3.44	LA-AB	15.59	LA-AE	14.63
LA-AG	4.12	LA-AL	8.15	LA-AP	10.71
LA-AR	28.66	LA-AT	14.48	LA-AZ	6.76
LA-BA	10.52	LA-BO	27.15	LA-CA	27.84
LA-CH	20.77	LA-CI	17.57	LA-CL	24.88
LA-CM	4.90	LA-CO	18.37	LA-CF	30.84
LA-CR	35.25	LA-CT	13.44	LA-CU	26.24
LA-DO	14.84	LA-EA	19.55	LA-EC	20.00
LA-EO	14.83	LA-ES	17.48	LA-GO	13.48
LA-GU	7.98	LA-HI	18.02	LA-IA	18.53
LI-AB	23.20	LI-AE	17.43	LI-AG	8.27
LI-AL	5.45	LI-AF	7.92	LI-AR	17.87
LI-AT	7.29	LI-AZ	4.43	LI-BA	14.67
LI-BO	24.36	LI-CA	25.05	LI-CH	17.98
LI-CI	14.78	LI-CL	26.71	LI-CN	8.49
LI-CO	15.57	LI-CP	30.36	LI-CR	32.46
LI-CT	10.65	LI-CU	23.45	LI-DO	12.04
LI-EA	22.34	LI-EC	11.60	LI-EO	25.63
LI-ES	24.51	LI-EO	10.69	LI-GU	2.81
LI-HI	15.23	LI-IX	17.81	LI-LA	10.79
MA-AB	16.86	MA-AE	28.68	MA-AG	9.92
MA-AL	16.70	MA-AF	3.33	MA-AR	24.21
MA-AT	10.03	MA-AZ	12.89	MA-BA	6.52
MA-BO	13.10	MA-CA	13.79	MA-CH	6.72
MA-CI	3.52	MA-CL	20.37	MA-CM	18.95
MA-CO	4.32	MA-CP	24.01	MA-CR	21.20
MA-CT	1.41	MA-CU	14.21	MA-DO	3.81
MA-EA	33.59	MA-EC	15.55	MA-EO	19.28
MA-ES	18.17	MA-GO	6.63	MA-GU	10.47
MA-HI	8.02	MA-IX	11.47	MA-LA	14.05
MA-LI	11.26	MC-AB	9.73	MC-AE	23.96
MA-AG	5.20	MC-AL	11.98	MC-AF	6.99
MA-AR	31.34	MC-AT	17.16	MC-AZ	9.03
MA-BA	1.20	MC-BO	17.83	MC-CA	18.52
MA-CH	12.25	MC-CI	8.25	MC-CL	15.56
MA-CM	14.22	MC-CO	9.04	MC-CF	21.51
MA-CR	25.93	MC-CT	5.71	MC-CU	16.91

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
MC-DO	5.51	MC-EA	28.87	MC-EC	22.67
MC-EO	12.16	MC-ES	11.04	MC-GO	13.76
MC-GU	10.66	MC-HI	8.70	MC-IX	9.26
MC-LA	9.32	MC-LI	13.47	MC-MA	7.12
MG-AB	5.00	MG-AE	30.42	MG-AG	11.67
MG-AL	18.45	MG-AF	11.72	MG-AR	36.07
MG-AT	21.89	MG-AZ	14.63	MG-BA	5.27
MG-BO	16.96	MG-CA	12.05	MG-CH	16.98
MG-CI	9.78	MG-CL	9.09	MG-CM	20.69
MG-CO	11.30	MG-CF	15.04	MG-CR	19.46
MG-CT	10.45	MG-CU	10.45	MG-DO	9.05
MG-EA	35.34	MG-EC	27.41	MG-EO	7.42
MG-ES	6.31	MG-GO	18.49	MG-GU	15.39
MG-HI	3.83	MG-IX	2.79	MG-LA	15.79
MG-LI	18.20	MG-MA	11.86	MG-MC	6.47
MI-AB	12.18	MI-AE	40.01	MI-AG	21.25
MI-AL	28.03	MI-AF	14.66	MI-AR	28.89
MI-AT	15.29	MI-AZ	24.21	MI-BA	14.85
MI-BO	9.78	MI-CA	2.47	MI-CH	9.80
MI-CI	7.80	MI-CL	15.69	MI-CM	30.27
MI-CO	7.01	MI-CF	19.34	MI-CR	11.32
MI-CT	11.94	MI-CU	9.54	MI-DO	10.54
MI-EA	44.92	MI-EC	20.22	MI-EO	16.61
MI-ES	13.49	MI-GO	11.89	MI-GU	21.79
MI-HI	7.35	MI-IX	6.79	MI-LA	25.37
MI-LI	22.58	MI-MA	11.32	MI-MC	16.05
MI-MG	9.58	MI-AE	14.16	ML-AE	23.58
ML-AG	4.82	ML-AL	11.60	ML-AF	2.57
ML-AR	26.91	ML-AT	12.74	ML-AZ	7.79
ML-BA	5.62	ML-BO	18.20	ML-CA	18.89
ML-CH	11.63	ML-CI	8.62	ML-CL	17.67
ML-CM	13.85	ML-CO	7.42	ML-CF	21.89
ML-CR	26.30	ML-CT	4.49	ML-CU	17.29
ML-DO	5.89	ML-EA	28.49	ML-EC	18.25
ML-EO	16.58	ML-ES	15.47	ML-GO	9.34
ML-GU	6.23	ML-HI	9.08	ML-IX	9.63
ML-LA	8.95	ML-LI	9.04	ML-MA	5.10
ML-MC	4.42	ML-MG	9.16	ML-MI	16.43
MO-AB	20.49	MO-AE	31.12	MO-AG	12.36
MO-AL	19.14	MO-AF	5.77	MO-AR	20.58
MO-AT	6.40	MO-AZ	15.33	MO-BA	11.96
MO-BO	10.67	MO-CA	11.36	MO-CH	4.29
MO-CI	5.71	MO-CL	24.00	MO-CM	21.38

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (D004)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
MO-CO	4.20	MO-CF	27.65	MO-CR	19.63
MO-CT	5.05	MO-CU	17.85	MO-DO	6.45
MO-EA	36.03	MO-EC	11.91	MO-EO	22.92
MO-ES	21.80	MO-GO	3.00	MO-GU	12.90
MO-HI	11.66	MO-IX	15.10	MO-LA	16.46
MO-LI	13.69	MO-MA	3.63	MO-MC	10.76
MO-MG	15.49	MO-MI	8.89	MO-ML	7.54
MT-AB	38.61	MT-AE	28.03	MT-AB	20.67
MT-AL	18.05	MT-AF	21.88	MT-AR	11.13
MT-AT	11.71	MT-AZ	19.84	MT-BA	30.07
MT-BO	16.64	MT-CA	27.16	MT-CA	16.62
MT-CI	23.83	MT-CL	42.12	MT-CM	23.90
MT-CO	22.31	MT-CF	45.76	MT-CR	37.75
MT-CT	23.16	MT-CU	35.96	MT-DO	24.56
MT-EA	32.94	MT-EC	6.20	MT-EO	41.03
MT-ES	39.92	MT-GO	15.11	MT-GU	16.22
MT-HI	29.77	MT-IX	33.22	MT-LA	26.20
MT-LI	15.40	MT-MA	21.75	MT-MC	28.87
MT-MG	33.61	MT-MI	26.42	MT-ML	24.45
MT-MO	18.11	MY-AB	5.98	MY-AE	29.85
MY-AG	20.91	MY-AL	26.54	MY-AF	22.70
MY-AR	47.05	MY-AT	32.87	MY-AZ	24.75
MY-BA	14.51	MY-BO	27.94	MY-CA	17.43
MY-CH	27.96	MY-CI	20.76	MY-CL	9.67
MY-CM	20.69	MY-CO	22.28	MY-CF	15.63
MY-CR	20.04	MY-CT	21.43	MY-CU	11.03
MY-DO	20.03	MY-EA	34.76	MY-EC	38.39
MY-EO	6.45	MY-ES	4.67	MY-GO	29.47
MY-GU	26.37	MY-HI	14.81	MY-IX	11.37
MY-LA	18.39	MY-LI	29.18	MY-MA	22.84
MY-MC	15.71	MY-MG	10.98	MY-MI	18.16
MY-ML	20.14	MY-MO	26.47	MY-MT	44.59
NA-AB	25.36	NA-AE	33.19	NA-AG	14.43
NA-AL	21.20	NA-AF	6.64	NA-AR	16.29
NA-AT	8.47	NA-AZ	17.39	NA-BA	16.33
NA-BO	8.60	NA-CA	13.91	NA-CH	3.38
NA-CI	10.58	NA-CL	28.87	NA-CM	23.45
NA-CO	9.06	NA-CF	32.52	NA-CR	24.50
NA-CT	9.91	NA-CU	22.71	NA-DO	11.31
NA-EA	38.10	NA-EC	7.04	NA-EO	27.79
NA-ES	26.67	NA-GO	5.07	NA-GU	14.41
NA-HI	16.53	NA-IX	19.97	NA-LA	18.55
NA-LI	15.76	NA-MA	8.50	NA-MC	15.63

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
NA-MG	20.36	NA-MI	13.18	NA-ML	11.20
NA-MQ	4.87	NA-MT	13.25	NA-MY	31.34
NE-AB	9.49	NE-AE	22.47	NE-AG	16.43
NE-AL	22.05	NE-AF	18.22	NE-AH	42.56
NE-AT	26.38	NE-AZ	20.26	NE-BA	10.03
NE-BO	23.45	NE-CA	21.74	NE-CH	23.47
NE-CI	16.27	NE-CL	18.78	NE-CM	16.20
NE-CO	17.79	NE-CF	24.74	NE-CR	29.15
NE-CT	16.94	NE-CU	20.14	NE-DO	15.54
NE-EA	27.96	NE-EC	33.90	NE-EO	2.67
NE-ES	11.38	NE-GO	24.98	NE-GU	21.88
NE-HI	11.93	NE-IA	12.48	NE-LA	13.90
NE-LI	24.69	NE-MA	15.35	NE-MC	11.22
NE-MG	9.69	NE-MI	19.27	NE-ME	15.65
NE-MO	21.98	NE-MT	40.10	NE-MY	9.11
NE-NA	26.85	NA-AB	31.18	NA-AE	26.21
NA-AG	16.25	NA-AL	14.23	NA-AF	14.46
NA-AR	9.89	NA-AT	4.29	NA-AZ	12.42
NA-BA	22.65	NA-BO	15.58	NA-CA	19.73
NA-CH	7.20	NA-CI	16.40	NA-CL	34.69
NA-CM	16.47	NA-CO	14.89	NA-CP	38.34
NA-CR	30.32	NA-CT	15.74	NA-CU	28.54
NA-DO	17.14	NA-EA	31.12	NA-EC	2.82
NA-EO	33.61	NA-ES	32.49	NA-EO	7.69
NA-GU	10.79	NA-HI	22.35	NA-IA	25.79
NA-LA	18.77	NA-LI	8.78	NA-MA	14.32
NA-MC	21.45	NA-MG	26.18	NA-MI	19.00
NA-ML	17.03	NA-MO	10.69	NA-MT	7.42
NA-MY	37.16	NA-NA	6.98	NA-NE	32.67
PD-AB	21.18	PD-AE	51.41	PD-AG	32.65
PD-AL	39.43	PD-AF	26.06	PD-AH	35.09
PD-AT	26.69	PD-AZ	35.62	PD-BA	26.25
PD-BO	15.98	PD-CA	6.93	PD-CH	16.00
PD-CI	19.20	PD-CL	11.89	PD-CM	41.67
PD-CO	18.41	PD-CF	13.14	PD-CR	5.12
PD-CT	23.34	PD-CU	10.54	PD-DO	21.94
PD-EA	56.32	PD-EC	26.42	PD-EO	28.01
PD-ES	19.29	PD-GO	23.29	PD-GU	33.19
PD-HI	16.75	PD-IA	18.15	PD-LA	36.77
PD-LI	33.98	PD-MA	22.72	PD-MC	27.45
PD-MG	20.98	PD-MI	11.40	PD-ML	27.83
PD-MO	20.29	PD-MT	32.62	PD-MY	21.56
PD-NA	19.38	PD-NE	30.67	PD-NX	25.20

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (KM)  
(Con Coordenadas Geográficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
PE-AB	19.02	PE-AE	20.45	PE-AG	4.04
PE-AL	8.47	PE-AP	4.90	PE-AR	22.05
PE-AT	7.87	PE-AZ	4.66	PE-BA	10.49
PE-BO	21.34	PE-CA	22.02	PE-BB	14.56
PE-CI	11.76	PE-CL	22.53	PE-CC	10.71
PE-CO	12.55	PE-CF	26.18	PE-CD	29.44
PE-CT	7.62	PE-CU	20.42	PE-CE	9.02
PE-EA	25.36	PE-EC	13.38	PE-ED	21.45
PE-ES	20.34	PE-EO	7.67	PE-EF	1.22
PE-HI	12.21	PE-EX	13.63	PE-LA	6.61
PE-LI	4.18	PE-MA	8.23	PE-MC	9.26
PE-MG	14.02	PE-MI	19.56	PE-ML	4.87
PE-MO	10.67	PE-MT	19.56	PE-MN	25.00
PE-NA	12.74	PE-NE	20.52	PE-NA	12.16
PE-PD	30.96	PI-AB	11.81	PI-NE	20.24
PI-AG	12.08	PI-AL	18.86	PI-AF	5.49
PI-AR	29.26	PI-AT	15.08	PI-AG	15.02
PI-BA	5.68	PI-BO	10.95	PI-BA	11.64
PI-CH	10.17	PI-CI	2.97	PI-BC	15.22
PI-CM	21.10	PI-CL	4.48	PI-CD	18.97
PI-CR	19.05	PI-CT	3.62	PI-CE	10.03
PI-DO	2.23	PI-EA	35.75	PI-EC	20.59
PI-EO	14.24	PI-ES	13.12	PI-ED	11.66
PI-GU	12.62	PI-HI	2.98	PI-EX	6.42
PI-LA	16.20	PI-LI	13.41	PI-MA	5.04
PI-MC	6.88	PI-MG	6.81	PI-MI	9.17
PI-ML	7.26	PI-MO	8.68	PI-MJ	26.79
PI-MY	17.79	PI-NA	13.55	PI-NE	13.20
PI-NX	19.37	PI-PD	20.57	PI-PF	10.35
PL-AB	21.16	PL-AE	32.18	PL-AG	13.43
PL-AL	20.20	PL-AF	6.84	PL-AH	19.71
PL-AT	7.47	PL-AZ	16.39	PL-BA	12.63
PL-BO	9.60	PL-CA	10.29	PL-BC	5.22
PL-CI	6.38	PL-CL	24.67	PL-CM	22.45
PL-CO	4.86	PL-CF	28.31	PL-CN	20.30
PL-CT	5.71	PL-CU	18.51	PL-DO	7.11
PL-EA	37.09	PL-EC	11.25	PL-EU	13.56
PL-ES	22.47	PL-EO	4.07	PL-FU	13.97
PL-HI	12.32	PL-EX	15.77	PL-LA	17.55
PL-LI	14.76	PL-MA	4.30	PL-MC	11.43
PL-MG	16.16	PL-MI	8.96	PL-ML	6.60
PL-MO	1.07	PL-MT	17.45	PL-MY	27.14
PL-NA	4.20	PL-NE	22.65	PL-NX	10.02

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
 (Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
PL-PD	19.22	PL-FE	11.74	PL-PI	9.35
PO-AB	5.92	PO-AE	36.15	PO-AG	17.39
PO-AL	24.17	PO-AP	10.80	PO-AR	35.15
PO-AT	20.97	PO-AZ	20.56	PO-BA	10.99
PO-BO	16.04	PO-CA	6.32	PO-CH	16.06
PO-CI	8.86	PO-CL	9.43	PO-CM	26.41
PO-CO	10.37	PO-CP	13.08	PO-CR	13.73
PO-CT	9.52	PO-CU	4.72	PO-DO	8.12
PO-EA	41.06	PO-EC	26.48	PO-EO	12.75
PO-ES	7.24	PO-GO	17.57	PO-GU	17.93
PO-HI	3.49	PO-IX	2.93	PO-LA	21.51
PO-LI	18.72	PO-MA	10.93	PO-MC	12.19
PO-MG	5.72	PO-MI	6.26	PO-ML	12.57
PO-MO	14.57	PO-MT	32.68	PO-MY	11.90
PO-NA	19.44	PO-NE	15.42	PO-NX	25.26
PO-PD	15.26	PO-FE	15.70	PO-FI	5.89
PO-PL	15.24	PF-AB	8.89	PF-AE	39.12
PF-AG	20.36	PF-AL	27.14	PF-AF	13.77
PF-AR	32.78	PF-AT	19.60	PF-AZ	23.32
PF-BA	13.96	PF-BO	14.67	PF-CA	4.16
PF-CH	14.69	PF-CI	7.49	PF-CL	10.80
PF-CM	29.38	PF-CO	9.01	PF-CP	14.45
PF-CR	10.77	PF-CT	11.04	PF-CU	4.64
PF-DO	9.64	PF-EA	44.03	PF-EC	25.11
PF-EO	15.71	PF-ES	8.60	PF-GO	16.20
PF-GU	20.90	PF-HI	6.46	PF-IX	5.90
PF-LA	24.46	PF-LI	21.69	PF-MA	10.43
PF-MC	15.16	PF-MG	8.69	PF-MI	4.89
PF-ML	15.94	PF-MO	13.20	PF-MT	31.31
PF-MY	15.27	PF-NA	18.07	PF-NE	18.38
PF-NX	23.89	PF-PD	12.29	PF-PE	18.67
PF-PI	8.28	PF-PL	13.87	PF-PO	2.97
PT-AB	23.60	PT-AE	27.43	PT-AG	8.67
PT-AL	15.45	PT-AP	6.88	PT-AR	17.47
PT-AT	3.29	PT-AZ	11.64	PT-BA	15.07
PT-BO	14.56	PT-CA	15.04	PT-CH	7.98
PT-CI	6.62	PT-CL	27.11	PT-CM	17.69
PT-CO	7.31	PT-CP	30.76	PT-CR	22.74
PT-CT	8.16	PT-CU	20.96	PT-DO	9.56
PT-EA	32.34	PT-EC	8.80	PT-EO	26.03
PT-ES	24.91	PT-GO	0.69	PT-GU	9.21
PT-HI	14.77	PT-IX	16.21	PT-LA	12.79
PT-LI	10.00	PT-MA	6.75	PT-MC	13.87



MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Duc  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
PT-MG	18.60	PT-MI	12.58	PT-ML	8.45
PT-MO	3.69	PT-MT	15.00	PT-MY	25.58
PT-NA	5.76	PT-NE	25.09	PT-NX	7.58
PT-PD	23.98	PT-PE	6.98	PT-PI	11.79
PT-PL	4.76	PT-PD	17.68	PT-PP	16.31
PV-AB	18.16	PV-AE	29.98	PV-AG	11.22
PV-AL	18.00	PV-AF	4.63	PV-AH	22.71
PV-AI	8.73	PV-AZ	14.19	PV-BA	5.67
PV-BO	11.80	PV-CA	12.49	PV-BH	8.41
PV-CI	3.38	PV-CL	21.67	PV-BI	26.25
PV-CO	3.02	PV-CP	25.31	PV-CK	19.50
PV-CT	2.71	PV-CU	15.51	PV-DO	4.11
PV-EA	34.89	PV-EC	14.25	PV-EO	20.55
PV-ES	19.47	PV-GO	5.33	PV-GU	11.77
PV-HI	9.32	PV-IX	12.77	PV-LA	15.35
PV-LI	12.56	PV-MA	1.30	PV-MC	8.42
PV-MG	13.16	PV-MI	10.02	PV-ML	6.40
PV-MO	2.33	PV-MT	20.45	PV-MY	24.14
PV-NA	7.20	PV-NE	19.65	PV-NX	13.01
PV-PD	21.42	PV-PE	9.54	PV-PI	6.35
PV-PL	3.00	PV-PD	12.23	PV-PP	10.87
PV-PT	5.45	QU-AB	12.30	QU-AE	42.53
QU-AG	23.77	QU-AL	30.55	QU-AF	17.18
QU-AR	35.17	QU-AT	20.99	QU-AZ	26.74
QU-BA	17.37	QU-BO	16.06	QU-CA	5.55
QU-CH	16.08	QU-CI	10.32	QU-CL	9.41
QU-CM	32.79	QU-CO	10.39	QU-CP	13.06
QU-CR	7.36	QU-CT	14.46	QU-CU	3.26
QU-DO	13.06	QU-EA	47.44	QU-EC	26.50
QU-EO	19.13	QU-ES	10.41	QU-GO	17.59
QU-GU	24.31	QU-HI	9.87	QU-IX	9.31
QU-LA	27.89	QU-LI	25.10	QU-MA	13.85
QU-MC	18.57	QU-MG	12.10	QU-MI	6.26
QU-ML	18.95	QU-MO	14.59	QU-MT	22.70
QU-MY	12.68	QU-NA	19.46	QU-NE	21.79
QU-NX	25.28	QU-PD	8.88	QU-PE	22.08
QU-FI	11.69	QU-FL	15.26	QU-PD	6.38
QU-PP	3.41	QU-FT	17.70	QU-PV	12.54
RA-AB	31.67	RA-AE	21.09	RA-AG	16.74
RA-AL	11.12	RA-AF	14.95	RA-AR	9.40
RA-AT	4.78	RA-AZ	12.90	RA-BA	23.14
RA-BO	20.69	RA-CA	21.35	RA-CH	14.31
RA-CI	16.89	RA-CL	35.18	RA-CM	16.56

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug.)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
RA-CO	15.37	RA-CP	38.83	RA-CR	30.81
RA-CT	16.22	RA-CU	29.02	RA-DO	17.62
RA-EA	26.01	RA-EC	7.94	RA-EO	34.09
RA-ES	32.98	RA-GO	8.18	RA-GU	11.28
RA-HI	23.84	RA-IX	26.28	RA-LA	19.26
RA-LI	8.47	RA-MA	14.81	RA-MC	21.94
RA-MG	26.67	RA-MI	19.49	RA-ML	17.51
RA-MO	11.18	RA-MT	6.94	RA-MY	37.65
RA-NA	12.09	RA-NE	33.16	RA-NX	5.11
RA-PD	30.31	RA-FE	12.65	RA-FI	19.86
RA-PL	11.09	RA-FO	25.75	RA-FF	24.38
RA-PT	6.07	RA-FV	13.51	RA-GU	25.77
RO-AB	16.27	RO-AE	31.29	RO-AG	12.54
RO-AL	19.31	RO-AF	5.95	RO-AH	24.80
RO-AT	10.62	RO-AZ	15.50	RO-BA	7.74
RO-BO	10.49	RO-CA	11.18	RO-CH	5.71
RO-CI	1.49	RO-CL	19.78	RO-CM	21.56
RO-CO	1.71	RO-CF	23.42	RO-CR	18.59
RO-CT	3.22	RO-CU	13.62	RO-DO	2.22
RO-EA	26.20	RO-EC	16.14	RO-EO	18.69
RO-ES	17.58	RO-GO	7.22	RO-GU	13.08
RO-HI	7.43	RO-IX	10.88	RO-LA	16.66
RO-LI	13.87	RO-MA	2.61	RO-MC	7.34
RO-MG	11.27	RO-MI	8.71	RO-ML	7.71
RO-MO	4.22	RO-MT	22.34	RO-MY	22.25
RO-NA	9.09	RO-NE	17.76	RO-NX	14.91
RO-PD	20.11	RO-PE	10.85	RO-FI	4.46
RO-PL	4.89	RO-PD	10.35	RO-FF	8.98
RO-PT	7.33	RO-PV	1.89	RO-QU	11.23
RO-RA	15.40	RS-AB	30.27	RS-AE	17.29
RS-AG	15.34	RS-AL	9.71	RS-AP	13.55
RS-AH	10.80	RS-AT	7.42	RS-AZ	11.50
RS-BA	21.74	RS-BO	24.49	RS-CA	25.18
RS-CH	16.11	RS-CI	15.49	RS-CL	33.78
RS-CM	15.86	RS-CO	15.71	RS-CP	37.42
RS-CR	32.59	RS-CI	14.82	RS-CU	27.62
RS-DO	16.22	RS-EA	22.20	RS-EC	11.74
RS-EO	32.69	RS-ES	31.56	RS-GO	10.82
RS-GU	9.88	RS-HI	21.43	RS-IX	24.88
RS-LA	17.86	RS-LI	7.07	RS-MA	13.41
RS-MC	20.54	RS-MG	25.27	RS-MI	22.71
RS-ML	16.11	RS-MO	13.82	RS-MT	10.74
RS-MY	36.25	RS-NA	15.89	RS-NE	31.76

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Eug)  
(Con Coordenadas Geográficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
RS-NX	8.91	RS-FD	34.11	RS-FE	11.25
RS-FI	18.46	RS-FO	14.89	RS-FO	24.35
RS-PF	22.98	RS-PT	10.10	RS-FV	12.69
RS-QU	25.23	RS-RA	3.80	RS-RO	14.00
SA-AB	14.76	SA-AE	44.98	SA-AG	16.13
SA-AL	33.00	SA-AP	19.64	SA-AP	32.71
SA-AT	20.27	SA-AZ	29.14	SA-BA	19.83
SA-BO	13.60	SA-CA	3.09	SA-CH	13.62
SA-CI	12.78	SA-CL	11.87	SA-CH	35.23
SA-CO	11.98	SA-CF	15.51	SA-CH	7.50
SA-CT	16.91	SA-CU	5.71	SA-CH	15.31
SA-EA	49.89	SA-EC	24.05	SA-EO	21.58
SA-ES	12.87	SA-EO	16.87	SA-EO	29.77
SA-HI	12.32	SA-EX	11.77	SA-EX	30.35
SA-LI	27.56	SA-MA	16.50	SA-EX	21.03
SA-MG	14.56	SA-MI	4.98	SA-ML	21.40
SA-MO	13.87	SA-MT	20.28	SA-MI	15.14
SA-NA	17.00	SA-NE	34.25	SA-NA	22.82
SA-FD	6.42	SA-FE	24.54	SA-FI	14.15
SA-FL	12.80	SA-FO	8.84	SA-FI	5.87
SA-FT	17.56	SA-FV	15.00	SA-FO	2.46
SA-RA	23.89	SA-RO	10.69	SA-RS	27.69
SB-AB	20.09	SA-AE	26.32	SA-AG	7.56
SB-AL	14.34	SA-AP	3.37	SA-AR	20.98
SB-AI	6.80	SA-AZ	10.52	SA-BA	11.56
SB-BO	15.47	SA-CA	16.16	SA-CH	9.09
SB-CI	5.89	SA-CL	23.60	SA-CH	16.58
SB-CO	6.69	SA-CF	27.25	SA-CH	23.57
SB-CT	4.64	SA-CU	17.45	SA-EO	6.04
SB-EA	31.23	SA-EC	12.31	SA-EO	22.52
SB-ES	21.40	SA-EO	3.40	SA-EO	6.13
SB-HI	11.26	SB-EX	14.70	SA-EX	11.68
SB-LI	8.89	SB-MA	3.23	SA-EX	10.36
SB-MG	15.09	SB-MI	10.69	SA-ML	5.94
SB-MO	4.80	SB-MT	18.32	SA-MI	20.07
SB-NA	6.87	SB-NE	21.58	SA-NA	11.09
SB-FD	25.09	SB-FE	5.87	SA-FI	8.25
SB-FL	5.87	SB-FO	14.17	SA-FI	12.80
SB-FT	3.51	SB-FV	3.07	SA-FO	16.21
SB-RA	11.58	SB-RO	4.98	SA-RO	10.18
SB-SA	18.67	SC-AB	25.58	SC-AE	7.63
SC-AG	14.12	SC-AL	7.35	SC-AP	20.71
SC-AR	18.66	SC-AT	20.08	SC-AZ	11.16

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
SC-BA	20.52	SC-BO	37.15	SC-CA	37.84
SC-CH	30.77	SC-CI	27.57	SC-CL	34.88
SC-CM	7.70	SC-CO	28.37	SC-CF	40.84
SC-CR	45.25	SC-CT	23.44	SC-CU	36.24
SC-DO	24.84	SC-EA	9.55	SC-EC	24.40
SC-EO	24.83	SC-ES	27.48	SC-GO	23.46
SC-GU	13.58	SC-HI	26.02	SC-IX	28.58
SC-LA	10.00	SC-LI	12.79	SC-MA	24.03
SC-MC	19.32	SC-MG	25.79	SC-MI	35.37
SC-ML	18.95	SC-MO	26.48	SC-MT	23.40
SC-MY	28.39	SC-NA	28.55	SC-NE	23.90
SC-NX	21.57	SC-PD	46.77	SC-FE	15.81
SC-PI	26.20	SC-PL	27.55	SC-FO	31.51
SC-PF	34.48	SC-PT	22.79	SC-FV	25.35
SC-QU	37.89	SC-RA	16.46	SC-RO	26.66
SC-RS	12.66	SC-SA	40.35	SC-SB	21.68
SF-AB	19.45	SF-AE	44.88	SF-AG	26.12
SF-AL	32.89	SF-AF	19.53	SF-AA	27.98
SF-AT	20.16	SF-AZ	29.08	SF-BA	19.72
SF-BO	3.09	SF-CA	8.00	SF-CH	9.47
SF-CI	12.67	SF-CL	22.96	SF-CM	35.14
SF-CO	11.27	SF-CF	26.60	SF-CR	18.59
SF-CT	16.80	SF-CU	16.80	SF-DO	15.40
SF-EA	49.79	SF-EC	15.85	SF-EO	21.88
SF-ES	20.76	SF-GU	16.76	SF-GU	26.66
SF-HI	12.22	SF-IX	14.06	SF-LA	30.24
SF-LI	27.45	SF-MA	16.19	SF-MC	20.92
SF-MG	14.45	SF-MI	7.27	SF-ML	21.29
SF-MO	13.76	SF-MT	19.16	SF-MY	25.43
SF-NA	11.69	SF-NE	24.14	SF-NX	18.67
SF-PD	13.47	SF-FE	24.43	SF-PI	14.04
SF-PL	12.69	SF-FD	13.53	SF-PP	12.16
SF-PT	17.45	SF-FV	14.89	SF-QU	13.55
SF-RA	23.78	SF-RO	13.58	SF-RS	27.58
SF-SA	11.09	SF-SB	16.56	SF-SC	40.24
SJ-AB	18.78	SJ-AE	49.01	SJ-SG	30.25
SJ-AL	37.02	SJ-AF	23.66	SJ-HR	32.69
SJ-AT	24.29	SJ-AZ	33.22	SJ-SA	23.85
SJ-BO	13.58	SJ-CA	6.53	SJ-CH	13.60
SJ-CI	16.80	SJ-CL	11.85	SJ-CM	39.27
SJ-CO	16.01	SJ-CF	15.54	SJ-CR	7.52
SJ-CT	20.54	SJ-CU	8.14	SJ-DO	15.54
SJ-EA	53.92	SJ-EC	24.02	SJ-EO	35.61

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Km)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
SJ-ES	16.89	SJ-BO	20.89	SJ-GO	30.79
SJ-HI	16.35	SJ-IX	19.79	SJ-LA	34.37
SJ-LI	31.58	SJ-MA	20.32	SJ-MC	25.45
SJ-MG	18.58	SJ-MI	9.00	SJ-ML	25.45
SJ-MO	17.89	SJ-MT	20.22	SJ-MY	19.16
SJ-NA	16.98	SJ-NE	28.17	SJ-NX	22.80
SJ-PD	2.40	SJ-FE	28.56	SJ-FI	18.17
SJ-PL	16.82	SJ-FO	12.86	SJ-FF	7.89
SJ-PT	21.56	SJ-FV	19.02	SJ-FU	8.48
SJ-RA	27.91	SJ-RO	17.71	SJ-RS	31.71
SJ-SA	4.02	SJ-SE	22.69	SJ-SC	44.37
SJ-SF	11.07	SM-AR	22.98	SM-AE	24.00
SM-AG	8.05	SM-AL	12.02	SM-AF	6.26
SM-AK	18.09	SM-AT	3.91	SM-AZ	8.21
SM-BA	14.45	SM-BU	17.78	SM-CA	18.47
SM-CH	11.40	SM-CI	8.20	SM-CL	26.47
SM-CM	14.27	SM-CO	9.00	SM-CF	30.14
SM-CR	25.88	SM-CT	7.53	SM-CU	20.33
SM-DO	8.95	SM-EA	28.92	SM-EC	9.43
SM-EO	25.41	SM-ES	24.29	SM-GO	4.11
SM-GU	5.79	SM-HI	14.15	SM-IX	17.59
SM-LA	10.57	SM-LI	6.58	SM-MA	6.12
SM-MC	13.25	SM-MG	17.98	SM-MI	16.00
SM-ML	8.82	SM-MO	7.11	SM-MT	15.63
SM-MY	28.96	SM-NA	9.18	SM-NE	24.47
SM-NX	8.20	SM-PD	27.40	SM-PE	3.96
SM-FI	11.17	SM-PL	8.18	SM-FO	17.06
SM-FF	15.69	SM-PT	3.42	SM-FV	5.98
SM-FU	18.52	SM-RA	8.69	SM-RO	7.29
SM-RS	7.29	SM-SA	20.98	SM-SB	2.69
SM-SC	19.37	SM-SF	20.87	SM-SJ	25.00
SO-AB	25.07	SO-AE	32.90	SO-AG	14.14
SO-AL	20.92	SO-AF	8.35	SO-AR	18.00
SO-AT	8.18	SO-AZ	17.10	SO-BA	16.54
SO-BO	8.89	SO-CA	13.62	SO-CH	3.09
SO-CI	10.29	SO-CL	28.58	SO-CM	23.16
SO-CO	8.78	SO-CF	32.23	SO-CR	24.21
SO-CT	9.63	SO-CU	22.43	SO-DO	11.05
SO-EA	37.81	SO-EC	7.33	SO-EO	27.50
SO-ES	26.38	SO-GO	4.78	SO-GU	14.68
SO-HI	16.24	SO-IX	19.68	SO-LA	18.26
SO-LI	15.47	SO-MA	8.21	SO-MC	15.34
SO-MG	20.07	SO-MI	12.89	SO-ML	10.92

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
 (Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
SO-MO	4.58	SO-MT	13.54	SO-MY	31.05
SO-NA	0.29	SO-NE	26.56	SO-NX	6.69
SO-PD	19.09	SO-PE	12.45	SO-FI	13.26
SO-FL	3.91	SO-PO	19.15	SO-FF	17.78
SO-PT	5.47	SO-PV	6.91	SO-QU	19.17
SO-RA	11.80	SO-RO	8.80	SO-RS	15.60
SO-SA	16.71	SO-SB	6.58	SO-SC	28.26
SO-SF	11.98	SO-SJ	16.69	SO-SM	8.89
SR-AB	10.19	SR-AE	40.42	SR-AG	21.66
SR-AL	28.44	SR-AF	15.07	SR-AR	32.48
SR-AT	18.30	SR-AZ	24.63	SR-BA	15.26
SR-BO	13.37	SR-CA	2.86	SR-CH	13.39
SR-CI	8.21	SR-CL	12.10	SR-CM	30.68
SR-CO	7.70	SR-CF	15.75	SR-CR	9.47
SR-CT	12.35	SR-CU	5.95	SR-DO	10.95
SR-EA	45.33	SR-EC	23.81	SR-EO	17.02
SR-ES	9.90	SR-GO	14.90	SR-GU	22.20
SR-HI	7.76	SR-IX	7.20	SR-LA	25.78
SR-LI	22.99	SR-MA	11.73	SR-MC	16.46
SR-MG	9.99	SR-MI	3.59	SR-ML	16.84
SR-MO	11.90	SR-MT	30.01	SR-MY	14.57
SR-NA	16.77	SR-NE	19.68	SR-NX	22.59
SR-PD	10.99	SR-PE	19.97	SR-PI	9.58
SR-FL	12.57	SR-PO	4.27	SR-PP	1.30
SR-PT	15.01	SR-PV	10.43	SR-QU	2.69
SR-RA	23.08	SR-RO	9.12	SR-RS	23.12
SR-SA	4.57	SR-SB	14.10	SR-SC	35.78
SR-SF	10.86	SR-SJ	8.59	SR-SM	16.41
SR-SO	16.48	ST-AB	35.89	ST-AE	26.12
ST-AG	20.96	ST-AL	15.34	ST-AF	19.17
ST-AR	9.22	ST-AT	9.00	ST-AZ	17.13
ST-BA	27.36	ST-BO	15.67	ST-CA	24.45
ST-CH	13.91	ST-CI	21.11	ST-CL	39.41
ST-CM	21.18	ST-CO	19.60	ST-CP	43.05
ST-CR	35.04	ST-CT	20.45	ST-CU	33.25
ST-DO	21.85	ST-EA	31.03	ST-EC	3.49
ST-EO	38.32	ST-ES	37.21	ST-GO	12.40
ST-GU	15.50	ST-HI	27.06	ST-IX	30.50
ST-LA	23.48	ST-LI	12.69	ST-MA	19.04
ST-MC	26.16	ST-MG	30.89	ST-MI	23.71
ST-ML	21.74	ST-MO	15.40	ST-MT	2.71
ST-MY	41.87	ST-NA	10.52	ST-NE	37.39
ST-NX	4.71	ST-PD	29.91	ST-PE	16.87

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (DUG)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
ST-FI	24.08	ST-PL	14.75	ST-PO	29.97
ST-FF	28.60	ST-PT	12.29	ST-PV	17.74
ST-QU	29.99	ST-RA	5.02	ST-RO	19.63
ST-RS	8.82	ST-SA	27.54	ST-SB	15.80
ST-SC	21.48	ST-SF	18.76	ST-SJ	27.51
ST-SM	12.91	ST-SO	10.82	ST-SR	27.50
TA-AB	24.72	TA-AE	28.58	TA-AB	9.83
TA-AL	16.60	TA-AF	8.04	TA-AR	16.31
TA-AI	3.87	TA-AZ	12.79	TA-BA	16.23
TA-BO	13.20	TA-CA	13.89	TA-BB	6.82
TA-CI	9.98	TA-CL	28.27	TA-CC	18.63
TA-CO	8.46	TA-CP	31.91	TA-CD	23.90
TA-CT	9.31	TA-CU	22.11	TA-CE	10.71
TA-EA	33.50	TA-EC	7.65	TA-ED	27.18
TA-ES	26.07	TA-GO	1.27	TA-EG	10.37
TA-HI	15.92	TA-IX	19.37	TA-LA	13.95
TA-LI	11.16	TA-MA	7.90	TA-MC	15.03
TA-MG	19.76	TA-MI	12.58	TA-ML	16.60
TA-MO	4.27	TA-MT	13.85	TA-NY	30.74
TA-NA	4.60	TA-NE	26.25	TA-NX	6.42
TA-PD	22.82	TA-PE	8.14	TA-FI	12.95
TA-PL	3.60	TA-PO	18.84	TA-PI	17.47
TA-PT	1.16	TA-PV	6.60	TA-PU	18.86
TA-RA	7.49	TA-RO	6.49	TA-RS	11.29
TA-SA	16.40	TA-SB	4.67	TA-SC	23.95
TA-SF	16.29	TA-SJ	20.42	TA-SM	4.58
TA-SO	4.31	TA-SR	16.17	TA-ST	11.13
TC-AB	18.12	TC-AE	23.95	TC-AG	5.19
TC-AL	11.97	TC-AF	1.40	TC-AR	22.55
TC-AT	8.77	TC-AZ	8.16	TC-BA	9.59
TC-BO	17.84	TC-CA	16.52	TC-BB	11.46
TC-CI	8.26	TC-CL	21.63	TC-CC	14.21
TC-CO	9.05	TC-CP	25.28	TC-CD	25.94
TC-CT	4.12	TC-CU	16.92	TC-CE	5.52
TC-EA	28.86	TC-EC	14.28	TC-ED	20.55
TC-ES	19.44	TC-GO	5.37	TC-EG	5.73
TC-HI	9.29	TC-IX	12.73	TC-LA	9.31
TC-LI	6.52	TC-MA	4.73	TC-MC	8.39
TC-MG	13.12	TC-MI	16.06	TC-ML	3.97
TC-MO	7.17	TC-MT	20.48	TC-MY	24.10
TC-NA	9.24	TC-NE	19.62	TC-NX	13.06
TC-PD	27.46	TC-PE	3.50	TC-FI	6.89
TC-PL	8.24	TC-PO	12.20	TC-PI	15.17

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug/  
 (Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
TC-PT	5.48	TC-FV	6.03	TC-QU	18.58
TC-RA	13.55	TC-RO	7.35	TC-RS	12.15
TC-SA	21.04	TC-SB	2.37	TC-SC	19.31
TC-SF	20.93	TC-SJ	25.06	TC-SM	4.66
TC-SO	8.95	TC-SR	16.47	TC-ST	17.77
TC-TA	6.64	TE-AB	23.89	TE-AE	38.12
TE-AG	19.36	TE-AL	26.14	TE-AP	12.77
TE-AR	21.22	TE-AT	13.40	TE-AZ	22.33
TE-BA	15.36	TE-BO	3.67	TE-CA	12.45
TE-CH	2.71	TE-CI	9.11	TE-CL	27.41
TE-CM	28.38	TE-CO	7.60	TE-CF	31.05
TE-CK	23.04	TE-CT	10.05	TE-CU	21.25
TE-DO	9.85	TE-EA	43.03	TE-EC	9.09
TE-EO	26.32	TE-ES	25.21	TE-EO	10.00
TE-GU	19.90	TE-HI	15.06	TE-IA	18.50
TE-LA	23.48	TE-LI	20.69	TE-MA	9.44
TE-MC	14.16	TE-MG	18.89	TE-MI	11.71
TE-ML	14.54	TE-MO	7.00	TE-NT	14.71
TE-MY	29.87	TE-NA	4.93	TE-NE	25.39
TE-NA	11.91	TE-FD	17.91	TE-FE	17.67
TE-FI	12.08	TE-FL	5.94	TE-FO	17.97
TE-FF	16.60	TE-FI	10.69	TE-FV	8.14
TE-QU	17.99	TE-RA	17.02	TE-RO	7.63
TE-RS	20.82	TE-SA	15.54	TE-SB	11.80
TE-SC	33.48	TE-SF	6.76	TE-SJ	15.51
TE-SM	14.11	TE-SO	5.22	TE-SR	15.30
TE-ST	12.00	TE-TA	9.54	TE-TC	14.17
TL-AB	37.19	TL-AE	17.02	TL-AG	22.26
TL-AL	16.64	TL-AP	20.47	TL-AR	3.88
TL-AT	10.30	TL-AZ	18.43	TL-BA	28.66
TL-BO	24.77	TL-CA	25.74	TL-CH	18.39
TL-CI	22.41	TL-CL	40.70	TL-CM	22.48
TL-CO	20.90	TL-CF	44.35	TL-CR	36.33
TL-CT	21.75	TL-CU	34.55	TL-DO	23.15
TL-EA	21.93	TL-EC	12.01	TL-EO	39.62
TL-ES	38.50	TL-EO	13.70	TL-EU	16.80
TL-HI	28.36	TL-IX	31.80	TL-LA	24.78
TL-LI	13.99	TL-MA	20.34	TL-MC	27.46
TL-MG	33.19	TL-MI	25.01	TL-ML	23.04
TL-MO	16.70	TL-NT	11.01	TL-MY	43.17
TL-NA	16.17	TL-NE	38.66	TL-NX	9.19
TL-PO	34.39	TL-FE	18.17	TL-FI	25.38
TL-PL	16.03	TL-FO	31.27	TL-FP	29.90

- TABLA # 4 -



MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Km.)  
 (con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
TL-F1	13.59	TL-FV	19.03	TL-QU	31.21
TL-RA	5.52	TL-RO	20.92	TL-RS	6.92
TL-SA	28.83	TL-SB	17.19	TL-SC	14.76
TL-SF	27.86	TL-SJ	31.93	TL-SM	14.21
TL-SO	15.88	TL-SR	28.60	TL-SI	9.10
TL-TA	12.43	TL-TC	19.07	TL-TE	11.10
TO-AB	14.34	TO-AE	20.51	TO-AG	14.47
TO-AL	20.09	TO-AF	16.26	TO-AR	40.61
TO-AT	26.43	TO-AZ	18.30	TO-BA	9.27
TO-BO	25.90	TO-CA	26.59	TO-CH	21.52
TO-CI	16.32	TO-CL	23.63	TO-CM	14.25
TO-CO	17.11	TO-CP	29.58	TO-CR	34.00
TO-CT	14.98	TO-CU	24.98	TO-DO	13.58
TO-EA	26.00	TO-EC	31.94	TO-EO	7.51
TO-ES	16.23	TO-EO	23.03	TO-GU	19.93
TO-HI	16.77	TO-IX	17.33	TO-LA	11.95
TO-LI	22.74	TO-MA	16.39	TO-MC	9.27
TO-MG	14.54	TO-MI	24.12	TO-ML	13.69
TO-MO	20.03	TO-MT	38.14	TO-MR	10.76
TO-NA	24.90	TO-NE	4.84	TO-NX	30.72
TO-PD	35.52	TO-FE	18.56	TO-FI	14.95
TO-PL	20.70	TO-FO	20.26	TO-FF	20.23
TO-F1	23.14	TO-FV	17.70	TO-QU	26.64
TO-RA	31.21	TO-RO	15.81	TO-RS	29.81
TO-SA	29.10	TO-SB	19.63	TO-SC	21.95
TO-SF	28.99	TO-SJ	33.12	TO-SM	22.52
TO-SO	24.61	TO-SR	24.53	TO-ST	35.43
TO-TA	24.30	TO-TC	17.66	TO-TE	23.43
TO-TL	36.73	TF-AB	20.76	TF-AE	51.18
TF-AG	32.42	TF-AL	39.20	TF-AF	25.83
TF-AR	44.11	TF-AT	29.93	TF-AI	35.39
TF-BA	26.02	TF-BO	25.00	TF-CA	14.49
TF-CH	25.02	TF-CI	18.98	TF-CL	11.67
TF-CM	41.45	TF-CO	19.34	TF-CP	5.71
TF-CR	3.90	TF-CT	23.11	TF-CU	10.31
TF-DO	21.71	TF-EA	56.09	TF-EC	35.45
TF-EO	27.78	TF-ES	19.07	TF-EO	26.33
TF-GU	32.97	TF-HI	18.52	TF-IX	17.97
TF-LA	36.55	TF-LI	33.76	TF-MA	22.30
TF-MC	27.23	TF-MG	20.76	TF-MI	15.22
TF-ML	27.60	TF-MO	23.53	TF-MT	41.65
TF-MY	21.34	TF-NA	28.40	TF-NE	30.45
TF-NX	34.22	TF-PD	9.02	TF-FE	30.74

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
TP-FI	20.35	TP-FL	24.20	TP-FO	15.03
TP-PF	12.07	TP-FT	26.64	TP-PV	21.20
TP-GU	8.94	TP-RA	34.71	TP-RO	19.89
TF-RS	33.89	TP-SA	11.40	TP-SB	24.87
TP-SC	46.55	TP-SF	22.49	TP-SJ	11.42
TP-SM	27.18	TP-SO	28.11	TP-SR	11.63
TP-ST	38.94	TP-TA	27.80	TP-TC	27.23
TP-TE	26.94	TP-TL	40.23	TP-TO	35.30
TY-AB	15.49	TY-AE	36.12	TY-AG	17.36
TY-AL	24.14	TY-AP	10.77	TY-AR	25.58
TY-AT	11.40	TY-AZ	20.33	TY-BA	10.96
TY-BO	6.47	TY-CA	6.36	TY-CH	6.49
TY-CI	3.91	TY-CL	19.00	TY-CM	26.38
TY-CO	3.12	TY-CF	22.65	TY-CR	14.63
TY-CT	8.05	TY-CU	12.85	TY-DO	6.65
TY-EA	41.03	TY-EC	16.91	TY-EO	17.92
TY-ES	16.80	TY-GO	8.00	TY-GU	17.90
TY-HI	6.66	TY-IX	10.10	TY-LA	21.48
TY-LI	18.69	TY-MA	7.43	TY-MC	12.16
TY-MG	10.49	TY-MI	3.89	TY-ML	12.54
TY-MO	5.00	TY-MT	23.11	TY-MY	21.47
TY-NA	9.87	TY-NE	16.98	TY-NX	15.69
TY-PD	15.29	TY-PE	15.67	TY-FI	5.28
TY-FL	5.67	TY-PO	9.57	TY-PF	8.20
TY-PT	8.69	TY-PV	6.13	TY-QU	9.59
TY-RA	16.18	TY-RO	4.82	TY-RS	18.82
TY-SA	8.87	TY-SB	9.80	TY-SC	31.48
TY-SF	8.76	TY-SJ	12.89	TY-SM	12.11
TY-SO	9.58	TY-SR	6.90	TY-ST	20.40
TY-TA	9.27	TY-TC	12.17	TY-TE	8.40
TY-TL	21.70	TY-TO	20.23	TY-TF	18.53
UR-AB	10.96	UR-AE	37.18	UR-AG	18.43
UR-AL	25.20	UR-AF	11.83	UR-AR	30.11
UR-AT	15.93	UR-AZ	21.39	UR-BA	12.02
UR-BO	11.00	UR-CA	5.29	UR-CH	11.02
UR-CI	4.98	UR-CL	14.47	UR-CM	27.45
UR-CO	5.34	UR-CF	18.11	UR-CR	12.70
UR-CT	9.11	UR-CU	8.31	UR-DO	7.71
UR-EA	42.09	UR-EC	21.45	UR-EO	13.78
UR-ES	12.27	UR-GO	12.53	UR-GU	18.97
UR-HI	4.52	UR-IX	5.57	UR-LA	22.55
UR-LI	19.76	UR-MA	8.50	UR-MC	13.22
UR-MG	6.76	UR-MI	2.82	UR-ML	13.60

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (en Km)  
(Con Coordenadas Geográficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
UR-MO	9.53	UR-MT	27.65	UR-MY	16.94
UR-NA	14.40	UR-NE	16.45	UR-NA	20.22
UR-PD	14.22	UR-PE	16.73	UR-PI	6.35
UR-PL	10.20	UR-PD	5.03	UR-PP	3.67
UR-PT	12.65	UR-FV	7.20	UR-QU	5.34
UR-RA	20.71	UR-RD	5.89	UR-RS	17.89
UR-SA	7.80	UR-SB	10.87	UR-SC	32.55
UR-SF	8.49	UR-SJ	11.82	UR-SM	15.18
UR-SO	14.11	UR-SK	3.23	UR-ST	24.94
UR-TA	13.80	UR-TC	13.23	UR-TE	12.94
UR-TL	26.23	UR-TO	21.30	UR-TF	14.00
UR-TY	4.53	VA-AB	11.87	VA-AE	35.69
VA-AG	16.94	VA-AL	23.71	VA-AF	10.35
VA-AR	29.20	VA-AT	15.02	VA-AZ	19.90
VA-BA	10.54	VA-BO	10.09	VA-CA	6.78
VA-CH	10.11	VA-CI	3.49	VA-CL	15.38
VA-CM	25.96	VA-CO	4.43	VA-CF	19.02
VA-CR	14.19	VA-CT	7.62	VA-CU	9.22
VA-DO	6.22	VA-EA	40.61	VA-EC	20.54
VA-EO	14.29	VA-ES	13.18	VA-EO	11.62
VA-GU	17.48	VA-HI	3.03	VA-IX	6.46
VA-LA	21.06	VA-LI	18.27	VA-MA	7.01
VA-MC	11.74	VA-MG	6.87	VA-MI	4.31
VA-ML	12.11	VA-MU	8.62	VA-MT	26.74
VA-MY	17.85	VA-NA	13.49	VA-NE	14.96
VA-NX	19.31	VA-PD	15.71	VA-PE	15.25
VA-PI	4.86	VA-FL	9.29	VA-PD	5.95
VA-PP	4.58	VA-PT	11.73	VA-PV	6.29
VA-QU	6.83	VA-RA	19.80	VA-RD	4.40
VA-RS	18.40	VA-SA	9.29	VA-SB	9.38
VA-SC	31.06	VA-SF	9.18	VA-SJ	13.31
VA-SM	11.69	VA-SO	13.20	VA-SR	4.72
VA-ST	24.02	VA-TA	12.69	VA-TC	11.75
VA-TE	12.02	VA-TL	25.32	VA-TO	19.81
VA-TF	15.49	VA-TY	3.62	VA-UR	1.49
VD-AB	11.60	VD-AE	29.03	VD-AG	10.27
VD-AL	17.05	VD-AF	5.12	VD-AR	29.47
VD-AT	15.29	VD-AZ	13.23	VD-BA	3.87
VD-BO	12.76	VD-CA	13.45	VD-CH	10.38
VD-CI	3.18	VD-CL	15.11	VD-CM	19.29
VD-CO	4.70	VD-CF	18.76	VD-CR	20.86
VD-CT	3.84	VD-CU	11.85	VD-DO	2.44
VD-EA	33.94	VD-EC	20.80	VD-EO	14.03

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
 (Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
VD-ES	11.91	VD-GO	11.89	VD-GU	10.81
VD-HI	5.63	VD-IA	6.21	VD-LA	14.39
VD-LI	11.60	VD-MA	5.26	VD-MC	5.07
VD-MG	6.60	VD-MI	10.98	VD-ML	5.45
VD-MO	8.89	VD-MT	17.00	VD-MY	17.58
VD-NA	13.76	VD-NE	13.09	VD-NX	19.58
VD-PD	22.38	VD-PE	8.58	VD-F1	1.81
VD-FL	7.56	VD-FO	7.12	VD-FF	10.09
VD-PT	12.00	VD-FV	6.56	VD-QU	13.50
VD-RA	20.07	VD-RO	4.67	VD-RS	18.67
VD-SA	15.96	VD-SB	8.49	VD-SC	24.39
VD-SF	15.63	VD-SJ	19.98	VD-SM	11.38
VD-SO	13.47	VD-SR	11.39	VD-ST	24.29
VD-TA	13.16	VD-TC	6.52	VD-TE	12.29
VD-TL	25.59	VD-TO	13.14	VD-TF	22.16
VD-TY	7.09	VD-UR	8.16	VD-VA	6.67
VE-AB	21.22	VE-AE	16.04	VE-AG	17.28
VE-AL	11.66	VE-AF	15.49	VE-AR	8.86
VE-AT	8.68	VE-AZ	13.45	VE-BA	23.68
VE-BO	25.75	VE-CA	26.47	VE-CH	19.37
VE-CI	17.44	VE-CL	35.73	VE-CM	17.51
VE-CD	16.96	VE-CP	39.37	VE-CR	33.84
VE-CT	16.77	VE-CU	29.57	VE-DO	18.17
VE-EA	20.95	VE-EC	12.99	VE-ED	34.64
VE-ES	33.53	VE-GO	12.08	VE-GU	11.83
VE-HI	23.38	VE-IA	26.83	VE-LA	19.81
VE-LI	9.01	VE-MA	15.36	VE-MC	22.48
VE-MG	27.22	VE-MI	23.77	VE-ML	18.06
VE-MO	15.08	VE-MT	11.59	VE-MY	38.20
VE-NA	17.14	VE-NE	33.71	VE-NX	10.17
VE-PD	35.37	VE-PE	13.19	VE-F1	20.40
VE-FL	16.14	VE-FO	26.29	VE-FF	24.92
VE-PT	11.39	VE-FV	14.06	VE-QU	26.49
VE-RA	5.05	VE-RO	15.95	VE-RS	1.95
VE-SA	28.94	VE-SB	12.12	VE-SC	11.41
VE-SF	28.83	VE-SJ	32.97	VE-SM	9.24
VE-SO	16.86	VE-SR	24.38	VE-ST	10.08
VE-TA	11.54	VE-TC	14.09	VE-TE	22.08
VE-TL	4.98	VE-TO	31.75	VE-TF	35.26
VE-TY	20.08	VE-UR	21.26	VE-VA	20.35
VG-VD	20.61	VG-AB	14.60	VG-AE	44.83
VG-AG	26.07	VG-AL	32.85	VG-AF	20.92
VG-AR	45.27	VG-AT	31.09	VG-AZ	29.03

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (LUG)  
 (Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
VG-BA	19.67	VG-EC	26.13	VG-FA	15.25
VG-CH	26.18	VG-EI	16.78	VG-FC	5.31
VG-CM	35.09	VG-CO	20.57	VG-CP	21.76
VG-CR	5.06	VG-CT	19.24	VG-CU	31.85
VG-DC	18.25	VG-EH	49.74	VG-EO	26.30
VG-ED	21.43	VG-EJ	12.71	VG-EP	27.87
VG-GU	26.01	VG-HI	17.02	VG-FA	11.31
VG-LA	30.19	VG-LI	27.40	VG-MA	11.06
VG-MC	20.87	VG-MG	14.40	VG-MI	16.26
VG-ML	21.25	VG-MO	24.39	VG-MT	42.80
VG-MY	14.78	VG-NA	29.36	VG-NE	24.07
VG-NA	35.38	VG-PD	10.18	VG-PE	24.28
VG-PI	16.01	VG-PL	25.26	VG-PC	10.12
VG-PF	11.49	VG-PT	27.80	VG-PV	22.26
VG-QU	10.10	VG-RA	25.87	VG-RO	20.47
VG-RS	24.47	VG-SA	12.56	VG-SB	24.28
VG-SC	40.19	VG-SF	23.65	VG-SJ	12.28
VG-SM	27.18	VG-SO	19.27	VG-SR	12.79
VG-ST	40.07	VG-TA	26.76	VG-TC	22.22
VG-TE	28.09	VG-TL	41.37	VG-TD	18.54
VG-TF	6.36	VG-Tr	19.67	VG-UR	15.76
VG-VA	16.07	VG-VO	15.80	VG-VE	26.41
VI-AB	15.65	VI-AE	27.67	VI-AG	9.11
VI-AL	15.89	VI-AP	7.52	VI-AR	25.42
VI-AT	11.25	VI-AI	12.08	VI-AS	7.11
VI-BO	13.92	VI-CA	14.60	VI-CH	7.54
VI-CI	4.22	VI-CL	19.16	VI-CM	18.14
VI-CO	5.12	VI-CP	22.80	VI-CS	22.01
VI-CT	6.20	VI-CU	13.00	VI-DO	11.20
VI-EA	32.78	VI-EC	16.76	VI-EO	18.07
VI-ES	16.96	VI-GO	7.85	VI-GU	9.66
VI-HI	6.81	VI-IA	10.26	VI-LA	13.24
VI-LI	10.45	VI-MA	1.21	VI-MC	5.91
VI-MG	10.65	VI-MI	12.13	VI-ML	4.29
VI-MO	4.85	VI-MT	22.96	VI-MY	21.67
VI-NA	9.71	VI-NE	17.14	VI-NA	15.54
VI-PD	23.54	VI-PE	7.42	VI-PI	3.82
VI-PL	5.51	VI-PO	9.72	VI-PP	11.26
VI-PT	7.96	VI-PV	2.51	VI-QU	14.66
VI-RA	16.02	VI-RO	2.42	VI-RS	14.62
VI-SA	17.11	VI-SB	4.45	VI-SC	22.24
VI-SF	17.00	VI-SJ	21.14	VI-SM	7.33
VI-SO	9.43	VI-SR	12.55	VI-ST	20.25

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
VI-TA	9.11	VI-TC	3.92	VI-TE	10.25
VI-TL	21.55	VI-TD	15.18	VI-TP	23.31
VI-TY	8.25	VI-UR	9.31	VI-VA	7.82
VI-VD	4.04	VI-VE	16.57	VI-VG	19.85
VL-AB	24.46	VL-AE	21.08	VL-AG	9.52
VL-AL	9.10	VL-AF	7.73	VL-AK	16.61
VL-AT	3.63	VL-AZ	5.69	VL-BA	15.92
VL-BO	20.70	VL-CA	21.39	VL-CH	14.32
VL-CI	11.12	VL-CL	27.97	VL-CM	11.35
VL-CD	11.92	VL-CF	31.61	VL-CR	28.80
VL-CT	9.01	VL-CU	21.81	VL-DO	10.41
VL-EA	25.99	VL-EC	7.95	VL-EO	26.88
VL-ES	25.77	VL-EO	7.03	VL-GU	4.07
VL-HI	15.62	VL-IX	19.07	VL-LA	12.05
VL-LI	3.66	VL-MA	7.60	VL-MC	14.72
VL-MG	19.46	VL-MI	18.92	VL-ML	10.30
VL-MO	10.03	VL-MT	14.15	VL-MY	30.44
VL-NA	12.10	VL-NE	25.95	VL-NX	6.72
VL-PD	30.32	VL-PE	5.43	VL-FI	12.65
VL-PL	11.10	VL-FD	18.53	VL-FF	18.03
VL-PT	6.35	VL-PV	8.90	VL-QU	21.45
VL-RA	7.21	VL-RD	10.21	VL-RS	5.81
VL-SA	23.90	VL-SB	5.23	VL-SC	16.45
VL-SF	23.79	VL-SJ	27.92	VL-SM	2.92
VL-SD	11.81	VL-SK	15.33	VL-ST	11.44
VL-TA	7.50	VL-TC	6.33	VL-TE	17.04
VL-TL	12.73	VL-TD	23.99	VL-TP	30.10
VL-TY	15.03	VL-UR	16.10	VL-VA	14.61
VL-VD	12.86	VL-VE	7.76	VL-VG	28.66
VL-VI	8.81	XO-AB	18.38	XO-AE	48.60
XO-AG	29.85	XO-AL	36.62	XO-AF	28.75
XO-AR	53.09	XO-AT	38.91	XO-AZ	32.81
XO-BA	23.45	XO-BD	33.98	XO-CA	23.47
XO-CH	34.00	XO-CI	26.80	XO-CL	9.09
XO-CM	38.87	XO-CD	28.32	XO-CF	4.87
XO-CR	12.88	XO-CT	27.47	XO-CU	14.67
XO-DO	26.07	XO-EA	53.51	XO-EC	44.43
XO-ED	25.20	XO-ES	16.49	XO-GO	35.51
XO-GU	32.41	XO-HI	20.86	XO-IX	17.41
XO-LA	33.97	XO-LI	35.22	XO-MA	28.88
XO-MC	24.64	XO-MG	18.18	XO-MI	24.20
XO-ML	26.18	XO-MO	32.51	XO-MT	50.63
XO-MY	18.76	XO-NA	37.38	XO-NE	27.87

- TABLA # 4 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
(Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
XO-NX	43.20	XO-PD	16.00	XO-PE	31.05
XO-PI	23.83	XO-PL	33.18	XO-PF	17.95
XO-PF	19.31	XO-PT	35.25	XO-PV	30.18
XO-QU	17.92	XO-RA	43.69	XO-RO	26.39
XO-RS	42.29	XO-SA	20.38	XO-SB	32.11
XO-SC	43.97	XO-SF	31.47	XO-SJ	20.40
XO-SM	35.00	XO-SO	37.09	XO-SR	20.81
XO-ST	47.92	XO-TA	36.78	XO-TC	30.15
XO-TE	35.92	XO-TL	49.21	XO-TD	32.72
XO-TF	8.98	XO-TY	27.51	XO-UR	22.96
XO-VA	23.89	XO-VD	23.62	XO-VE	44.24
XO-VG	7.82	XO-VI	27.67	XO-VL	36.48
ZA-AB	5.85	ZA-AE	24.38	ZA-AG	11.98
ZA-AL	17.60	ZA-AP	13.77	ZA-AR	36.12
ZA-AT	23.94	ZA-AZ	15.61	ZA-BA	5.58
ZA-BD	19.01	ZA-CA	18.09	ZA-CH	19.03
ZA-CI	11.83	ZA-CL	15.14	ZA-CN	14.85
ZA-CU	13.34	ZA-CP	21.09	ZA-CR	25.50
ZA-CT	12.49	ZA-CU	16.45	ZA-DO	11.09
ZA-EA	29.29	ZA-EC	29.45	ZA-EO	5.38
ZA-ES	7.73	ZA-GO	20.54	ZA-GU	17.44
ZA-HI	8.28	ZA-IX	8.84	ZA-LA	9.74
ZA-LI	20.25	ZA-MA	13.90	ZA-MC	6.78
ZA-MG	6.05	ZA-MI	15.63	ZA-ML	11.20
ZA-MO	17.54	ZA-MT	35.65	ZA-NI	6.53
ZA-NA	22.41	ZA-NE	4.45	ZA-NA	26.23
ZA-PD	27.03	ZA-PE	16.07	ZA-FI	8.66
ZA-PL	18.20	ZA-PO	11.77	ZA-PF	14.74
ZA-PT	20.65	ZA-PV	15.20	ZA-QU	16.15
ZA-RA	28.72	ZA-RO	13.32	ZA-RS	27.31
ZA-SA	20.61	ZA-SB	17.14	ZA-SC	19.74
ZA-SF	20.50	ZA-SJ	24.63	ZA-SM	20.03
ZA-SO	22.12	ZA-SR	16.04	ZA-ST	32.74
ZA-TA	21.80	ZA-TC	15.17	ZA-TE	20.94
ZA-TL	34.24	ZA-TD	8.49	ZA-TF	26.80
ZA-TY	12.54	ZA-UR	12.80	ZA-VA	11.31
ZA-VD	8.65	ZA-VE	29.26	ZA-VG	20.45
ZA-VI	12.69	ZA-VL	21.50	ZA-XO	24.22
ZO-AB	13.62	ZO-AE	25.85	ZO-AG	7.09
ZO-AL	13.87	ZO-AP	3.10	ZO-AR	27.45
ZO-AT	13.27	ZO-AZ	10.06	ZO-BA	5.09
ZO-BD	15.94	ZO-CA	16.63	ZO-CH	9.56
ZO-CI	6.36	ZO-CL	17.13	ZO-CN	16.11

- TABLA # 4 -

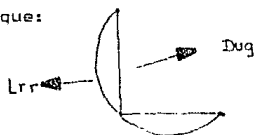
MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS (Dug)  
 (Con Coordenadas Geograficas)

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
ZO-CO	7.15	ZO-CP	20.78	ZO-CR	24.04
ZO-CI	2.22	ZO-CU	15.02	ZO-DO	3.62
ZO-EA	20.76	ZO-EC	18.76	ZO-EO	16.05
ZO-ES	14.93	ZO-GO	9.87	ZO-GU	7.65
ZO-HI	6.81	ZO-IA	8.23	ZO-LA	11.21
ZO-LI	9.58	ZO-MA	3.23	ZO-MC	3.89
ZO-MG	8.62	ZO-MI	14.16	ZO-ML	2.27
ZO-MO	6.87	ZO-NT	24.98	ZO-MY	19.60
ZO-NA	11.74	ZO-NE	15.12	ZO-NX	17.56
ZO-PD	25.56	ZO-PE	5.40	ZO-FI	4.99
ZO-PL	7.54	ZO-FO	10.30	ZO-PP	13.27
ZO-PT	9.98	ZO-FV	4.54	ZO-QU	16.68
ZO-RA	18.05	ZO-RD	5.45	ZO-RS	16.65
ZO-SA	19.14	ZO-SB	6.47	ZO-SC	21.21
ZO-SF	19.03	ZO-SJ	23.16	ZO-SM	9.36
ZO-SO	11.45	ZO-SR	14.57	ZO-ST	22.27
ZO-TA	11.14	ZO-TC	4.50	ZO-TE	12.27
ZO-TL	23.57	ZO-TO	13.16	ZO-TF	25.74
ZO-TY	10.27	ZO-UR	11.34	ZO-VA	9.85
ZO-VU	3.18	ZO-VE	18.59	ZO-VG	18.98
ZO-VI	2.02	ZO-VL	10.83	ZO-XD	25.64
ZO-ZA	10.67	-	0.00	-	0.00



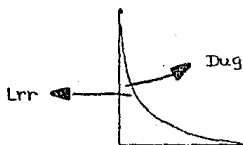
Una vez obtenida la matriz de distancias por ubicación geográfica entre cada par de centrales se procedió a calcular la diferencia en kms. (mediante el prog. I ver anexo II), entre estas distancias calculadas (Dug) y la longitud de ruta registrada (Lrr) para los enlaces correspondientes.

Los casos resultantes de la comparación serán  $Lrr = Dug$ ,  $Lrr > Dug$  y  $Lrr < Dug$ , donde  $Lrr = Dug$  es el caso ideal y el cual indicaría que el modelo explica completamente el comportamiento de la longitud real. Para el caso en que  $Lrr > Dug$  ocurriría graficamente que:



- FIGURA # 14 -

Y para el caso en que  $Lrr < Dug$  se tendría:



- FIGURA # 15 -

El resumen de las diferencias obtenidas se muestra en la tabla

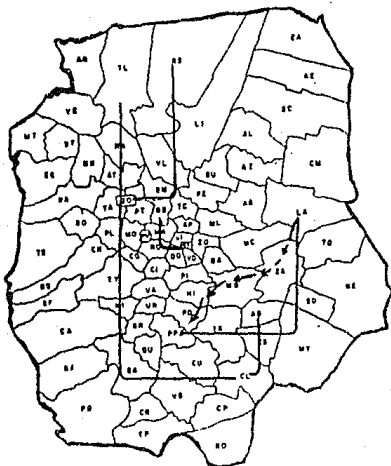
# 5.	Caso	Frecuencia	Porcentaje
	$Lrr = Dug$	4	0.62
	$Lrr > Dug$	245	37.46
	$Lrr < Dug$	405	61.92

- TABLA # 5 -

Se observa que el caso mas frecuente es cuando Lrr < Dug .  
 Con el objeto de analizar, que ocurre en este caso se seleccionaron cinco enlaces como ejemplo. los cuales se listan en la tabla # 6 y se muestran en la figura # 16.

Central Origen	Central Destino	Lrr (kms)	Dug (kms)
Go	Rs	9.8	10.82
Ct	Sb	4.0	4.64
Ab	C1	8.2	7.29
La	Fp	23.2	24.48
T1	C1	17.8	40.75

- TABLA # 6 -



- FIGURA # 16 -

Se puede concluir (como era de esperarse) que las distancias calculadas (Dug) no son buenas aproximaciones a la que, para algunas centrales existe la posibilidad de determinar al menos un enlace con centrales intermedias que mejora la ruta en cuanto a distancia. Por ejemplo para el enlace La - Pp, la opción sería La - Za - Mo - Fo - Pp (ver figura # 1c) donde la distancia sería 18.2 kms., en vez de 24.48 kms. encontrada por Dug. Es claro que esta estimación es poco aproximativa de la realidad y se hace necesario mejorarla. Sin embargo estos datos nos serán de utilidad, en la sección II.2.1 en donde se utilizarán como punto de referencia para realizar el muestreo.

## II.2 SEGUNDO MODELO PROPUESTO PARA LA ESTIMACION DE DISTANCIAS ENTRE CENTRALES TELEFÓNICAS.

Hasta el momento el modelo que se había considerado era:

$$d_{ij} = (|Ln_i - Ln_j|^p + |Lo_i - Lo_j|^p)^{1/p}$$

donde:  $i$  representa a la central  $i$  y

$j$  representa a la central  $j$

con  $p=2$ , representa la distancia mínima entre centrales (línea recta) y  $p = 1$ , representa la suma de los catetos.

Se observa que la distancia entre dos centrales se describe mediante una función que depende de la variable  $p$  y dado que esta función debe reflejar la mejor aproximación, se requiere determinar el valor de  $p$  tal que los valores de las distancias que arroja esta función no difieran considerablemente de las distancias mínimas reales entre cada par de centrales.

Si  $\hat{d}_{ij}$  = distancia mínima real entre las centrales  $(C_i, C_j)$

$$d_{ij}(p) = \sqrt[p]{|Ln_i - Ln_j|^p + |Lo_i - Lo_j|^p}$$

Basados en la estimación de mínimos cuadrados, el problema ahora sería:

$$D) \quad \text{Minimizar } Z = \sum (\hat{d}_{ij} - d_{ij}(p))^2$$

s.a.  $0 \leq p \leq 2$ .

Donde la restricción  $0 \leq p \leq 2$  se explica de la siguiente manera:

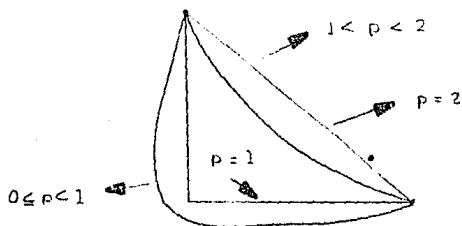
Si  $0 \leq p < 1$  la distancia entre dos centrales, sería mayor a la distancia que resulta de la suma de catetos.

Si  $p = 1$  representa la suma de catetos.

Si  $1 < p < 2$  la distancia entre centrales es menor que la distancia que resulta de la suma de catetos.

Si  $p = 2$  representa la distancia mínima entre centrales.

(Ver figura # 17).



- FIGURA # 17 -

Para resolver este modelo, se procedió a obtener una muestra de enlaces por zonas y medir su distancia ( $d_{ij}^A$ ) en un mapa de la Ciudad de México a escala 1 : 30 000. En la siguiente subsección se hablara del muestreo realizado.

Una vez obtenidas las muestras se resolvió el problema (D) para cada una de las zonas con objeto de encontrar la  $p$  que minimize la función objetivo y con ella poder determinar por zonas una distancia posiblemente mejor que la reportada por Dug.

## II.2.1 MUESTREO ALEATORIO SIMPLE PARA LA ESTIMACION DE DISTANCIAS ENTRE CENTRALES TELEFONICAS

Las consideraciones para realizar el muestreo son:

Como se muestra en la figura # 10 pag. 11, las areas tandem estan geograficamente determinadas por Telefonos de Mexico, se propone que para el muestreo se conserven dichas areas.

Para conservar la restriccion de no exceder los 40 kms. de enlace con fibra optica se proponen cortes horizontales para formar las zonas de muestreo.

Se observo que las centrales de las areas tandem Roma y Centro Telefónico cubren areas mas pequenas y dichas centrales se encuentran mas concentradas.

Por estas razones se proponen 3 zonas para el muestreo realizando cortes horizontales, y así formar cada zona de muestreo con dos areas tandem.

Con objeto de obtener mas informacion para realizar el muestreo, se procedio a hacer un análisis en funcion de las distancias, obteniéndose la tabla # 7.

Intervalo de diferencias entre Lrr y Dug	Frecuencia
[ -11, -9 )	7
[ -9, -7 )	20
[ -7, -5 )	35
[ -5, -3 )	38

- TABLA # 7 -

Intervalo de diferencias entre Lrr y Dug	Frecuencia
( -3, -1 )	75
( -1, 1 )	211
( 1, 3 )	180
( 3, 5 )	65
( 5, 7 )	19
( 7, 9 )	3
( 9, 11 )	1
	Total 654

- TABLA # 7 -

En la tabla anterior se observa que la frecuencia mas alta es la correspondiente al intervalo ( -1, 1 ), de ahí que se considere para el muestreo un grado de precisión igual a 1 km. . Ahora si continuamos nuestro analisis de estos 211 casos observamos que la frecuencia de Lrr para intervalos de 5 kms. es la que se presenta en la tabla # 8.

Intervalos para Lrr	Frecuencia
( 0, 5 ]	114
( 5, 10 ]	39
( 10, 15 ]	22
( 15, 20 ]	21
( 20, 25 ]	11
( 30, 35 ]	2
( 35, 40 ]	1
	Total 211

- TABLA # 8

Obsérvese que la frecuencia mayor es cuando la distancia varía de 0 a 5 kms.

De las tablas # 7 y # 8 se puede decir que para una diferencia entre Lrr y Dug de 1 km. las distancias mas frecuentes van de 0 a 5 kms. . Con objeto de obtener mas informacion de las zonas se realizo un estudio con la matriz que se genero de las distancias minimas entre Lrr y Dug para determinar la frecuencia de las distancias entre 0 y 5 kms. abarcando dos areas tandem, y se obtuvieron los siguientes resultados:

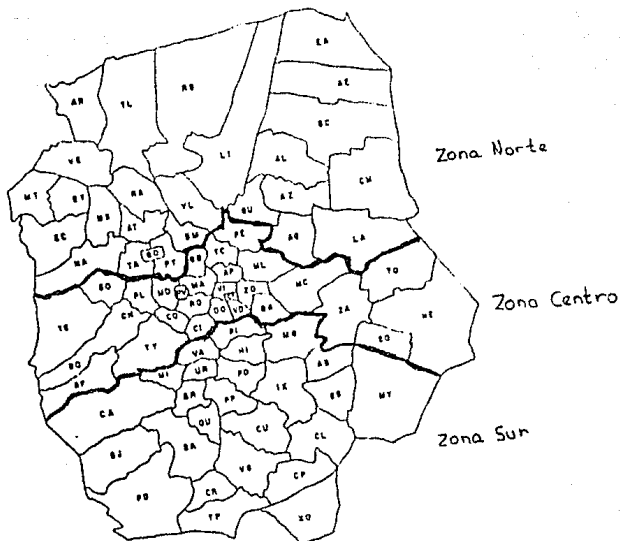
Centrales Tandem	No. de Distancias entre 0 y 5 kms.
Nx y VI	38
Ro y Ct	102
Cl y Pp	51

- TABLA # 9 -

Se puede observar que en las areas tandem Ro y Ct se tiene una frecuencia mayor.

La division propuesta en tres zonas del area metropolitana: Zona Norte abarcando las areas tandem Nextengo (Nx) y Vallejo (VI), Zona centro con las areas tandem Roma (Ro) y Centro Telefónico (Ct), y Zona Sur con las areas tandem Cuinuscán (Cl) y Popocatepeti (Pp), se muestra en la figura # 18.





- FIGURA # 18 -

En cada zona se aplicó un muestreo aleatorio simple, en donde los conceptos generales son:

-Población.- el conjunto del que se eligió la muestra para cada zona son los pares de centrales que pertenecen a la zona respectiva. Quedando entonces registrados los siguientes datos:

Zona	No. de Centrales	Población (Total de Enlaces)
Norte	26	$\binom{26}{2} = 325$
Centro	29	$\binom{29}{2} = 406$
Sur	25	$\binom{25}{2} = 300$

- TABLA # 10 -

-Grado de Precisión.- de acuerdo a las observaciones realizadas en la tabla # 7 se estableció como premisa que el grado de precisión para el muestreo fuera de 1 i.m.

-Metodo de Medicion.- como se menciona anteriormente las distancias para las muestras se obtuvieron con mediciones en un mapa a escala 1 : 30 000, de calles y avenidas de la Ciudad de México.

-La unidad de muestreo esta constituida por la distancia entre cada par de centrales.

-Determinación de el tamaño de muestra.- para determinar el tamaño de la muestra se requiere de una estimación de la variabilidad de la característica en estudio, en este caso la distancia entre dos centrales. Por esto, se decidió generar una matriz de distancias de la siguiente forma:

- 1.- Seleccionar la distancia mínima entre la longitud real (Lrr) y la distancia calculada (Dug).
- 2.- Para los enlaces entre centrales en donde no se encuentra registrada la Lrr, se tomo la distancia calculada (Dug).  
Formando así una matriz de distancias depurada entre Lrr y Dug, mediante el programa # 3. (Ver anexo II).

Para determinar tamaño de muestra n se utilizo la fórmula de estimación de la variabilidad de la población:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{y})^2}{N - 1}$$

donde  $y_i$  = la distancia entre dos centrales

$N$  = el total de distancias entre cada par de centrales por zona.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i)}{n}$$

y

$$\text{var } \bar{y} = \left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{s^2}{n}$$

donde  $n$  es el tamaño de la muestra.

Dado que se requiere que la probabilidad de que la media poblacional difiera de la media muestral con una precisión de un kilómetro y una confianza de 95 %, se tiene que:

$$P(|\bar{y} - \bar{y}| \leq d) = 1 - \alpha$$

donde  $d = 1$  y  $1 - \alpha = .95$ .

Por el Teorema Central del Límite  $\bar{y} \sim N(\bar{y}, \sigma^2)$ , estandarizando esto se obtiene que:

$$\frac{\bar{y} - \bar{y}}{\sqrt{\sigma^2}} \sim N(0, 1)$$

además se tiene que  $s^2 = \hat{\sigma}^2$ , de ahí que:

$$Z_{1-\alpha} = \frac{d}{\sqrt{\text{Var } \bar{y}}}$$

y entonces

$$Z_{1-\alpha} = \frac{d}{\sqrt{\left(1 - \frac{r_i}{N}\right) \frac{s^2}{r_i}}}$$

de donde se obtiene que:

$$n = \frac{N}{N \left( \frac{d^2 Z_{1-\alpha}^2}{s^2} \right) + 1}$$

Para cada zona se obtuvieron tanto los tamaños de muestra, como los enlaces que forman parte de cada muestra. Para la selección de cada muestra, los enlaces se ordenaron alfabéticamente y se escogieron mediante una tabla de números aleatorios.

Los datos para la generación de estas muestras y los enlaces de la muestra se presentan a continuación.

Zona Norte:

Datos

Muestra

N = 325

Ag - L1

A1 - Az

s = 53.83

Ai - La

A1 - Ra

d = 1

A1 - V1

Ar - Nw

Z = 2.6896

At - Ra

At - Sc

n = 19

At - T1

Az - Na

Cm - Ve

Ec - L1

Zona Norte:

Muestra	
Ec - Mt	Ec - Ve
Gu - La	Gu - Sm
La - Rs	Na - Ta
Ra - Sm	

Zona Centro:

Datos

N = 406  
s = 39.33  
d = 1  
Z = 2.6896  
n = 14

Muestra

Ap - Co	Ap - So
Ba - Ma	Ch - Tl
Ch - Te	Ci - Vd
Co - Ne	Ct - Fe
Ma - Za	Sb - Ty
Sb - Za	Sf - Te
So - To	To - Py

Zona Sur:

Datos

N = 300  
s = 28.8  
d = 1  
Z = 2.6896  
n = 10

Muestra

Ab - Cu	Ab - Tp
Ca - F1	Cr - H1
Cr - Fo	Cu - Va
Es - Fp	H1 - Mg
H1 - Va	Mg - Fp

-Cobertura del Muestreo.- es importante señalar que debido a la división realizada para llevar a cabo el muestreo, se está omitiendo información entre las fronteras de las zonas, información que debe incluirse ya que la red de seguridad debe contener enlaces entre las fronteras Norte - Centro, y Centro-Sur. Por esta razón es necesario efectuar un muestreo para las fronteras y así cubrir completamente el marco poblacional.

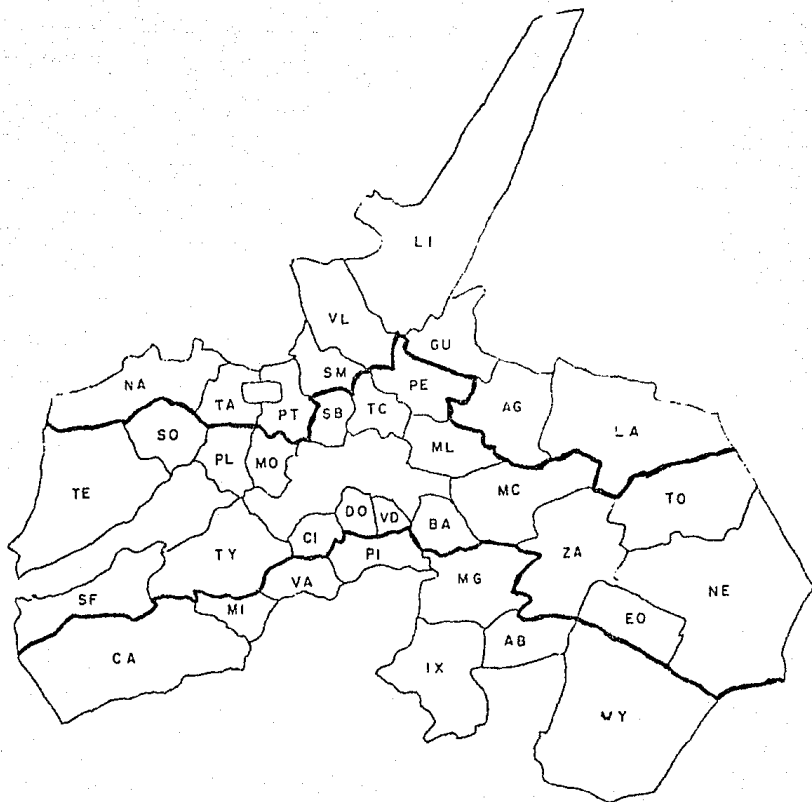
Entonces de forma similar al procedimiento anterior se calculó el tamaño de muestra para las fronteras obteniéndose los resultados siguientes. En la figura # 19 se muestran las centrales que forman parte de cada frontera.

Frontera Norte - Centro:

Datos	Muestra	
N = 20	Pt - P1	Aq - M1
s = 2.755		
d = 0.5		
Z = 2.6896		
n = 2		

Frontera Centro - Sur:

Datos	Muestra	
N = 18	Ty - M1	Za - Ab
s = 2.196		
d = 0.5		
Z = 2.6896		
n = 2		



- FIGURA # 19 -

## II.2.2 ESTIMACION DEL PARAMETRO P PARA EL SEGUNDO MODELO

Con las muestras obtenidas se midieron las distancias respectivas en el mapa de la Ciudad de Mexico, en el cual 1 cm. equivale a 300 mts.. En la tabla # 11 se muestran estas mediciones.

$\hat{d}_{ij}$ .

Zona	Enlaces-Muestra	Distancia en cms.	Distancia en kms. ( $\hat{d}_{ij}$ )
Norte:	Ag - L1	20.5	6.15
	Al - Az	11.5	3.45
	Al - La	26.6	7.98
	Al - Ra	36.2	10.86
	Al - V1	28.4	8.52
	Ar - Nx	33.0	9.9
	At - Ra	16.2	4.8
	At - Sc	49.8	14.94
	At - T1	31.4	9.42
	Az - Na	44.3	13.29
	Cm - ve	65.5	19.65
	Ec - L1	42.5	12.75
	Ec - Mt	19.6	5.88
	Ec - Ve	22.5	6.75
	Gu - La	23.1	6.93
	Gu - Sm	15.5	4.65
	La - Rs	42.8	12.84
	Na - Ta	12.6	3.78
	Ra - Sm	23.6	7.08

- TABLA # 11 -



Zona	Enlace - Muestra	Distancia en cms.	Distancia en kms. ( $\hat{d}_{ij}$ )
Centros:	Ap - Co	19.5	5.85
	Ap - So	26.7	8.01
	Ba - Ma	21.6	6.54
	Ch - Pl	8.4	2.52
	Ch - Te	9.1	2.73
	Ci - Vd	10.6	3.18
	Co - Ne	59.7	17.91
	Ct - Pe	20.3	6.09
	Ma - Za	36.7	11.01
	Sb - Ty	26.3	7.89
	Sb - Za	42.2	12.66
	Sf - Te	20.5	6.15
	So - To	71	21.3
	To - Ty	61	18.3
Sur:	Ab - Cu	30.5	9.15
	Ab - Tp	57	17.1
	Ca - Pi	37.5	11.25
	Cr - Hi	54.4	16.32
	Cr - Po	41.3	12.39
	Cu - Va	29.8	8.94
	Es - Pp	27.6	8.28
	Hi - Mg	11.6	3.48
	Hi - Va	13.1	3.93
	Mg - Pp	28	8.4

- TABLA # 11 -

77

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Zona	Enlace - Muestra	Distancia en cms.	Distancia en kms. ( $\hat{d}_{ij}$ )
Frontera			
N - C :	Pt - P1	20.5	6.15
	Ag - M1	13.0	3.9
Frontera			
C - S :	Iy - M1	12.1	3.63
	Za - Ab	17.2	5.16

- TABLA # 11 -

Con la información anterior y retomando el segundo modelo propuesto se plantea la solución del siguiente sistema para cada área.

Sea

$$Z_k = \{\hat{d}_{ij}\} - \{[(Ln_i - Ln_j)^p + (Lo_i - Lo_j)^p]^{1/p}\}^2$$

$$\text{Minimizar } \sum_k Z_k$$

$$\text{s.a. } 0 \leq p \leq 2$$

donde  $\hat{d}_{ij}$  = las distancias medidas en el mapa de la central 1 a la central j.

$(Ln_i, Lo_j)$  = coordenadas de ubicación geográfica en kms. de la central 1.

$(Ln_i, Lo_j)$  = coordenadas de ubicación geográfica en kms. de la central j.

p = variable que se quiere estimar.

Para la solución del sistema planteado se utilizó el paquete de programación para la solución de problemas no lineales llamado General Interactive Optimizer (GINSOL), en el cual se utilizó el método del gradiente reducido. Los modelos para la solución del sistema planteado para cada zona muestral son: los modelos No. 1, 2, 3, 4, y 5 del anexo 11, alimentados con los datos muestrales de las zonas Norte, Centro, Sur, Frontera N-C y Frontera C-S respectivamente. Los valores obtenidos de los modelos planteados para la estimación de la variable  $p$ , por zona, así como el valor de la función objetivo se muestran en la tabla # 12.

Zona	$p$ estimada	valor de la Función Objetivo
Norte	1.605403	12.66
Centro	1.598034	5.94
Sur	1.345156	11.25
Frontera		
N - C	1.0	2.80
Frontera		
C - S	1.311721	0.0027

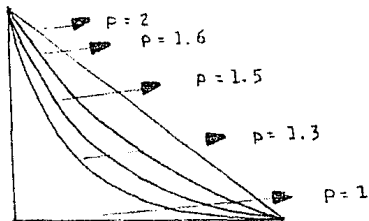
- TABLA # 12 -

En la siguiente subsección se analizarán los resultados obtenidos.

### 11.2.3 ANALISIS DEL SEGUNDO MODELO

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla # 12, se observa que en las zonas Norte y Centro, el valor de  $p$  es más cercano a 2, que para la zona Sur.

Gráficamente estos valores se presentan en la figura # 20.



- FIGURA # 20 -

Es importante resaltar que la función objetivo es menor en la zona Centro, lo cual indica que las distancias definidas en función de  $p$ , se aproximan más a los valores de las distancias que se midieron en el mapa  $\hat{d}_{ij}$ .

Para el caso de las fronteras al igual que en las zonas Norte, Centro y Sur, el valor estimado de la variable  $p$  es menor que 2. El hecho de que los valores estimados de  $p$ , para cada zona sean menores que dos indica que efectivamente influye la irregularidad del trazado de calles y/o avenidas, en la distancia de enlace entre centrales, existiendo un grado de "tortuosidad" asociado.<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Entendamos por "tortuosidad" la desviación que existe con respecto a la línea recta.

En este segundo modelo no lineal que se describio, el grado de "tortuosidad" esta en funcion del valor de la variable  $\rho$ .

Con objeto de determinar este grado de "tortuosidad" asociado y contar con un punto de comparacion para este segundo modelo se propone un tercer modelo, el cual se describe en la siguiente seccion.

### II.3 PROPUESTA DE UN TERCER MODELO

El tercer modelo que se propone a continuación se plantea considerando que se requiere conocer en que proporción se incrementa la línea recta, entre dos centrales, al considerar un nuevo factor, el grado de "tortuosidad" existente en las calles de la ciudad.

Entonces, sean  $\alpha_{ij}$  = distancia mínima entre la central i y la central j (línea recta)

$d_{ij}$  = distancia real entre la central i y la central j (por determinar)

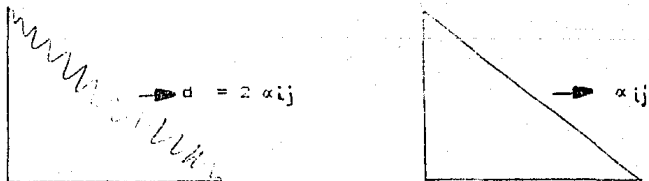
Se define el grado de "tortuosidad" ( $g$ ) como la proporción entre la  $d_{ij}$  y  $\alpha_{ij}$ , es decir:

$$g = \frac{d_{ij}}{\alpha_{ij}}$$

Ejemplo, si la distancia real entre la central i y la central j es igual a dos veces la distancia mínima ( $2 \alpha_{ij}$ ), se tiene que:

$$g = \frac{d_{ij}}{\alpha_{ij}} = \frac{2 \alpha_{ij}}{\alpha_{ij}} = 2$$

gráficamente se tiene:



- FIGURA # 21 -

Entonces la distancia real entre la central  $i$  y la central  $j$  queda definida en función del factor de tortuosidad como:

$$d_{ij} = g \cdot \alpha_{ij}$$

La distancia mínima entre centrales  $(\alpha_{ij})$  se obtiene mediante:

$$\alpha_{ij} = \sqrt{(LN_i - LN_j)^2 + (LO_i - LO_j)^2}$$

y entonces:  $d_{ij}(g) = \sqrt{(LN_i - LN_j)^2 + (LO_i - LO_j)^2} \times g$

donde  $g$  = factor de tortuosidad asociado.

Deseamos ahora encontrar la  $g$  que de el valor de  $d$  ( $g$ ) mas cercano a la realidad.

Nuevamente consideraremos tres zonas  $v$  de forma similar a la estimación de los valores de  $p$ , se plantea un sistema para la estimación de los valores de  $g$ , usando como insumo los mismos valores muestrales de  $\hat{d}_{ij}$  que se utilizaron para estimar  $p$ , mostrados en la tabla # 11.

Nuevamente, utilizando una aproximación por mínimos cuadrados se tiene el modelo siguiente:

$$si \quad Z_k = (\hat{d}_{ij} - (\sqrt{(LN_i - LN_j)^2 + (LO_i - LO_j)^2}) \times g)^2$$

ahora el problema a resolver es el siguiente:

$$\text{Minimizar } \sum_k Z_k$$

$$\text{s.a. } g > 1$$

donde:

$$\hat{d}_{ij} = \text{distancia medida en el mapa, de la central } i \text{ a la central } j$$

$(Ln_i, Lo_i)$  = coordenadas de ubicacion geografica en kms. de la central i.

$(Ln_j, Lo_j)$  = coordenadas de ubicacion geografica en kms. de la central j.

g = variable que se quiere estimar.

Para la solucion de este sistema se utilizo nuevamente el paquete GINÚ. En el anexo II se presentan los modelos 6, 7, 8, 9 y 10 con los datos muestrales de las zonas Norte, Centro, Sur, Frontera N-C y Frontera C-S respectivamente. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla # 13.

Zona	g estimada	Funcion Objetivo
Norte	1.070892	9.3478439
Centro	1.048993	4.894879
Sur	1.154763	8.794816
Frontera N - C	1.625045	0
Frontera C - S	1.077069	0.092694

- TABLA # 13 -



#### 11.4 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE EL SEGUNDO Y TERCER MODELOS PROPUESTOS

Se observara que en general las funciones objetivo del sistema en el tercer modelo son menores que aquellas que se obtuvieron con el sistema planteado en el segundo modelo. (Ver tabla # 12). Con objeto de comparar los resultados obtenidos en el segundo y tercer modelo se obtuvieron las tablas # 14, # 16, y # 18, para las zonas Norte Centro y Sur respectivamente. En estas tablas se calcularon las distancias para cada enlace muestra de las zonas, tanto en funcion de p, como en funcion de q (columnas 2 y 4 en cada tabla). Ademas se calculo tanto el valor absoluto de la diferencia entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(p)$  (es decir |columna 2 - columna 1| = columna 3), como el valor absoluto de la diferencia entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(q)$ , (|columna 4 - columna 1| = columna 5). se puede observar que las distancias en funcion de q se aproximan más a las distancias que se midieron ( $\hat{d}_{ij}$ ). Para obtener informacion adicional se realizo una tabla resumen para cada zona, obteniendose el promedio, la variancia, el valor maximo y minimo de las diferencias entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(p)$ , y entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(q)$ , se muestra tambien la distribucion de frecuencias de las diferencias obtenidas, para intervalos de 500 mts. (ver tablas # 15, # 17, # 19).

ZONA NORTE:

TABLA COMPARATIVA ENTRE  $\hat{\sigma}_{ij}^2$  (0.01) (0.01)

Centrales	$\hat{\sigma}_{ij}^2$ columna 1	$\hat{\sigma}_{ij}^2$ columna 2	$ \hat{\sigma}_{ij}^2 - \hat{\sigma}_{ij}^2 $ columna 3	$\hat{\sigma}_{ij}^2$ columna 4	$ \hat{\sigma}_{ij}^2 - \hat{\sigma}_{ij}^2 $ columna 5
Na - Ta	3.78	3.569976	0.210024	1.247633	0.266364
Ni - Az	3.45	3.128691	0.321309	7.125121	0.281646
Ec - Mt	5.88	4.791212	1.087874	4.56159	1.127649
Nt - Ka	4.81	4.502526	0.307474	4.540126	0.317824
Gu - Sm	4.65	4.726465	0.076465	4.607655	0.157325
EC - Ve	6.72	5.353804	1.366196	6.91611	0.162311
Hg - Li	6.15	6.416167	0.266167	6.341545	0.171545
Ra - Sm	7.68	6.917179	0.762821	6.925521	0.141479
Gu - La	6.92	6.515717	0.404283	6.622522	0.297077
At - Li	7.42	9.249056	0.170543	7.726126	0.216126
Aj - La	7.98	6.472567	1.507433	8.427022	1.446277
Al - Vl	8.52	7.416586	1.103414	7.821672	0.736127
Ar - Nn	9.9	9.621576	0.278424	10.22222	0.265222
Al - Ka	10.86	10.26776	0.592224	10.68437	0.226224
Ec - Li	12.75	10.66598	2.114412	11.71646	1.522516
La - Rs	12.64	13.84376	1.093705	13.87226	0.332261
Az - Na	13.29	17.67176	0.681703	14.06624	0.755249
At - Sc	14.74	15.65565	0.855615	15.86137	0.641377
Um - ve	15.65	19.32252	0.327479	19.22626	0.188265
Total	169.65	163.4119	11.84565	166.7141	10.12169

- TABLA # 14 -

TABLA RESUMEN

	$ \hat{\sigma}_{ij}^2 - \hat{\sigma}_{ij}^2 $	$ \hat{\sigma}_{ij}^2 - \hat{\sigma}_{ij}^2 $
Promedio	0.623465	0.522716
Varianza	0.275172	0.205826
Máximo	2.144412	1.533516
Mínimo	0.076465	0.024879

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE:

$ \hat{\sigma}_{ij}^2 - \hat{\sigma}_{ij}^2 $ Intervalo	Frecuencia	$ \hat{\sigma}_{ij}^2 - \hat{\sigma}_{ij}^2 $ Intervalo	Frecuencia
(0 - 0.5)	10	(0 - 0.5)	12
(0.5 - 1)	4	(0.5 - 1)	2
(1 - 1.5)	3	(1 - 1.5)	4
(1.5 - 2)	1	(1.5 - 2)	1
(2 - 2.5)	1	(2 - 2.5)	0

- TABLA # 15 -

Page 17/180

TABLA Centralización de los  $\hat{\sigma}_{ij}$ ,  $d(p)$  y  $d(p)$

Centrales	$\hat{\sigma}_{ij}$ columna 1	$d(p)$ columna 2	$(d(p) - \hat{\sigma}_{ij})$ columna 3	$d(p)$ columna 4	$(d(p) - \hat{\sigma}_{ij})$ columna 5
C1 - F1	11.52	11.534950	0.014950	11.465050	0.152629
C1 - V0	7.12	5.173	1.991	11.001	0.154745
C1 - Fe	2.73	11.988493	0.001104	11.481501	0.156898
H0 - C0	5.85	5.877713	0.027713	5.850887	0.176116
Lt - Fe	6.99	6.265320	0.175320	6.143916	0.155916
Ea - Na	6.54	6.764389	0.224389	6.779500	0.155100
Sf - Fe	2.15	5.877481	0.172518	5.998216	0.151783
Sb - Ty	7.69	6.325412	0.163412	6.430464	0.149464
Ma - Za	11.01	11.005289	0.002810	10.7984	0.214782
H0 - S0	8.91	7.969225	0.020874	8.349414	0.230414
So - Za	12.96	13.27195	0.611459	12.74011	0.152312
Co - Na	17.91	15.84727	2.262727	16.00791	1.852974
To - Ty	18.3	18.14247	0.157527	18.04273	0.392738
So - To	21.3	21.85724	0.157841	21.16894	0.866443
Total	100.14	128.6947	4.846206	129.7417	5.133033

- TABLA # 16 -

TABLA RESUMEN

	$(d(p) - \hat{\sigma}_{ij})$	$(d(p) - \hat{\sigma}_{ij})$
Promedio	0.331674	0.366345
Varianza	0.314256	0.215115
Máximo	2.262723	1.862074
Mínimo	0.001	0.052629

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

$(d(p) - \hat{\sigma}_{ij})$ Intervalo	Frecuencia	$(d(p) - \hat{\sigma}_{ij})$ Intervalo	Frecuencia
0 - 0.50	12	0 - 0.50	12
0.5 - 1.0	1	0.5 - 1.0	1
1.0 - 1.50	0	1 - 1.50	0
1.5 - 2.0	0	1.5 - 2.0	1
2.0 - 2.50	1	2 - 2.50	0

-TABLA # 17 -

- 89 -

ZONA SUR

TABLA COMPARATIVA ENTRE  $\hat{\alpha}_{ij}$  y  $\hat{\alpha}_{ij}$

6-51

Centrales	$\hat{\alpha}_{ij}$ columna 1	$\hat{\alpha}_{ij}$ columna 2	$ \hat{\alpha}_{ij} - \hat{\alpha}_{ij} $ columna 1	$ \hat{\alpha}_{ij} - \hat{\alpha}_{ij} $ columna 2	$ \hat{\alpha}_{ij} - \hat{\alpha}_{ij} $ columna 3
H1 - Hg	3.48	3.402778	0.077222	0.077222	0.144444
H1 - Va	3.41	3.38748	0.02252	0.02252	0.04504
Cr - To	12.09	11.76414	0.32586	0.32586	0.65172
Cu - va	8.34	8.149775	0.190225	0.190225	0.38045
Es - Fp	6.18	6.032865	0.147135	0.147135	0.29427
Cr - H1	18.31	14.98878	3.32122	3.32122	6.64244
Ca - Pt	11.25	9.741296	1.508704	1.508704	3.017408
AD - Cu	7.15	7.097641	0.052359	0.052359	0.104718
Hg - Fp	12.9	15.70566	2.80566	2.80566	5.61132
AD - To	17.1	17.60781	0.50781	0.50781	1.01562
Total	103.74	100.8770	8.345547	8.345547	16.69109

- TABLA # 18 -

TABLA RESUMEN

	$ \hat{\alpha}_{ij} - \hat{\alpha}_{ij} $	$ \hat{\alpha}_{ij} - \hat{\alpha}_{ij} $
Promedio	0.304594	0.301621
Varianza	0.429256	0.361296
Máximo	2.230662	1.978462
Mínimo	0.077221	0.141918

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

$ \hat{\alpha}_{ij} - \hat{\alpha}_{ij} $ Intervalo	Frecuencia	$ \hat{\alpha}_{ij} - \hat{\alpha}_{ij} $ Intervalo	Frecuencia
(0 - 0.5]	3	(0 - 0.5]	3
(0.5 - 1]	4	(0.5 - 1]	4
(1 - 1.5]	1	(1 - 1.5]	0
(1.5 - 2]	1	(1.5 - 2]	3
(2 - 2.5]	1	(2 - 2.5]	0

- TABLA # 19 -

Es importante observar que en la zona Norte el promedio de la diferencia entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(g)$  es 0.5, y además los valores de varianza, máximo y mínimo son menores que los valores respectivos a la diferencia entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(p)$ . Lo que nos lleva a concluir que el tercer modelo es más aproximativo. De la distribución de frecuencias se puede observar que los casos más frecuentes son aquellos en que la diferencia entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(g)$  es menor o igual a 0.5 r.m.s. .

Para la zona Centro el promedio de la diferencia entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(p)$  es menor que la diferencia entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(g)$ , pero la varianza es menor para  $\hat{d}_{ij} - d_{ij}(g)$  que para  $\hat{d}_{ij} - d_{ij}(p)$ . De la distribución de frecuencias se observara que la diferencia entre  $\hat{d}_{ij}$  y  $d_{ij}(g)$  es menos variable, lo que nos llevo a concluir que el tercer modelo es más aproximativo.

Finalmente en la zona Sur se obtuvieron resultados similares a la zona Norte, es decir, en general la relación de  $g$  es más aproximativa que la relación de  $p$ . Este análisis permitió concluir que el tercer modelo es más aproximativo. Por lo que para la estimación de la matriz de distancias se utiliza el tercer modelo con los valores respectivos de  $g$  para cada zona.

En la sección II.E se describe la forma en que se estiman las distancias entre cada par de centrales.

## II.5 ESTIMACION DE LA MATRIZ DE DISTANCIAS MEDIANTE EL TERCER MODELO PROPUESTO

Con los parámetros obtenidos anteriormente se procedió a generar la Matriz de Distancias en función de  $g$ , mediante el siguiente modelo:

$$d_{ij}(g) = \sqrt{(LN_i - LN_j)^2 + (LO_i - LO_j)^2} \cdot g$$

donde  $g$  toma los valores correspondientes por zona presentados en la tabla # 13. A continuación se ejemplifica la forma en que se calcularon las distancias.

Consideremos el ejemplo siguiente:

Sean las centrales Rosario (Ra) y Valiejo (Vi), ambas pertenecen a la Zona Norte, por lo tanto la  $g$  respectiva es:

$$g = 1.070892$$

Las coordenadas geográficas de cada central son:

Central	Latitud	Longitud
Ra	19° 30' 40"	99° 11' 20"
Vi	19° 29' 10"	99° 09' 15"

usando las equivalencias siguientes:

$$\text{Latitud } 1'' = 0.04 \text{ kms.}$$

$$\text{Longitud } 1'' = 0.0291818 \text{ kms.}$$

se tiene que:

$$\text{Lat (Ra)} = 73.6 \text{ kms.}$$

$$\text{Lon (Ra)} = 19.643 \text{ kms.}$$

$$\text{Lat (Vi)} = 70 \text{ kms.}$$

$$\text{Lon (Vi)} = 16.195 \text{ kms.}$$

y aplicando el modelo:

$$d_{R\&N}(1.070892) = \sqrt{(75.6-70)^2 + (19.64-16.195)^2} \cdot 1.070892$$

la distancia calculada es:

$$d_{R\&N} = 5.48 \text{ kms.}$$

De la misma forma que en el ejemplo anterior, se obtuvieron las matrices de distancias en función de  $q$ , con los valores respectivos a cada zona, esto mediante el programa # 4 (ver anexo II). Estas matrices se listan en las tablas # 20, # 21, # 22, # 23 y # 24, para las zonas Norte, Centro, Sur, Frontera N-C y Frontera C-S respectivamente, donde la unidad de la distancia calculada es en kms.

Las matrices obtenidas representan el insumo requerido para el diseño de la Red Auxiliar del D.F..

En el capítulo siguiente se detalla el procedimiento de dicho diseño.

MAPA DE DISTANCIAS CALCULADAS  
EN FUNCION DE G DE LA ZONA NORTE

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
AE-AG	14.95	AE-AL	9.12	AE-AR	20.07
AE-AT	19.38	AE-AN	12.12	AE-CM	8.77
AE-EA	5.35	AE-EC	23.82	AE-GO	21.50
AE-GU	13.86	AE-LA	12.85	AE-LI	13.38
AE-MT	25.31	AE-NA	25.50	AE-NX	21.47
AE-PT	20.99	AE-RA	18.07	AE-RS	15.00
AE-SC	3.70	AE-SM	18.34	AE-ST	22.98
AE-TA	21.97	AE-TL	17.97	AE-VE	14.97
AE-VL	16.29	AG-AL	6.67	AG-AR	19.93
AG-AT	10.21	AG-AZ	3.67	AG-CM	6.87
AG-EA	19.96	AG-EC	15.49	AG-GO	9.70
AG-GU	4.17	AG-LA	3.69	AG-LI	6.36
AG-MT	19.41	AG-NA	13.61	AG-NX	13.65
AG-PT	9.38	AG-RA	12.88	AG-RS	11.71
AG-SC	12.11	AG-SM	7.34	AG-ST	16.96
AG-TA	10.63	AG-TL	16.98	AG-VE	13.29
AG-VL	7.48	AL-AR	16.09	AL-AT	10.87
AL-AZ	3.19	AL-CM	4.78	AL-EA	13.58
AL-EC	15.87	AL-GO	12.50	AL-GU	4.74
AL-LA	6.50	AL-LI	4.62	AL-MT	16.47
AL-NA	16.58	AL-NX	13.58	AL-PT	12.00
AL-RA	10.99	AL-RS	8.46	AL-SC	5.75
AL-SM	9.35	AL-ST	15.45	AL-TA	13.06
AL-TL	13.26	AL-VE	9.42	AL-VL	7.56
AR-AT	12.27	AR-AZ	17.00	AR-CM	20.84
AR-EA	20.06	AR-EC	11.29	AR-GO	15.80
AR-GU	15.76	AR-LA	21.89	AR-LI	13.60
AR-MT	8.66	AR-NA	17.14	AR-NX	10.29
AR-PT	15.45	AR-RA	7.81	AR-RS	8.22
AR-SC	17.07	AR-SM	14.74	AR-ST	8.01
AR-TA	15.20	AR-TL	2.95	AR-VE	6.78
AR-VL	13.01	AT-AZ	9.23	AT-CM	14.76
AT-EA	22.55	AT-EC	5.35	AT-GO	3.64
AT-GU	7.03	AT-LA	13.49	AT-LI	6.24
AT-MT	9.29	AT-NA	6.54	AT-NX	3.47
AT-PT	3.23	AT-RA	4.54	AT-RS	6.18
AT-SC	15.67	AT-SM	3.03	AT-ST	6.94
AT-TA	3.35	AT-TL	9.74	AT-VE	7.71
AT-VL	3.34	AZ-CM	5.57	AZ-EA	16.75
AZ-EC	14.53	AZ-GO	10.08	AZ-GU	2.23
AZ-LA	4.93	AZ-LI	3.61	AZ-MT	17.82
AZ-NA	14.20	AZ-NA	12.39	AZ-PT	9.62
AZ-RA	10.65	AZ-RS	8.84	AZ-SC	8.91

- TABLA # 20 -



MAPA DE LAS ANILAS CALCULADAS

EN FUNCIÓN DE G DE LA ZONA NORTE

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
AE-AG	14.95	AE-AL	9.12	AE-AR	20.07
AE-AT	17.38	AE-AZ	12.12	AE-CM	8.77
AE-EA	5.56	AE-EC	23.82	AE-GO	21.50
AE-GU	13.86	AE-LA	12.85	AE-LI	13.38
AE-MT	25.31	AE-NA	25.50	AE-NA	21.47
AE-PT	20.99	AE-RA	18.07	AE-RS	15.00
AE-SC	3.70	AE-SM	18.34	AE-ST	22.98
AE-TA	21.97	AE-TL	17.97	AE-VE	14.97
AE-VL	16.29	AG-AL	6.67	AG-AR	19.93
AG-AT	10.21	AG-AZ	3.67	AG-CM	6.87
AG-EA	19.96	AG-EC	15.49	AG-GO	9.70
AG-GU	4.17	AG-LA	3.69	AG-LI	6.36
AG-MT	19.41	AG-NA	13.61	AG-NA	13.65
AG-PT	9.38	AG-RA	12.88	AG-RS	11.71
AG-SC	12.11	AG-SM	7.34	AG-ST	16.96
AG-TA	10.63	AG-TL	16.98	AG-VE	13.29
AG-VL	7.48	AL-AR	16.09	AL-AT	10.87
AL-AZ	3.19	AL-CM	4.78	AL-EA	13.58
AL-EC	15.87	AL-GO	12.50	AL-GU	4.74
AL-LA	6.50	AL-LI	4.62	AL-MT	18.47
AL-NA	16.58	AL-NA	13.58	AL-PT	12.00
AL-RA	10.99	AL-RS	8.46	AL-SC	5.75
AL-SM	9.35	AL-ST	15.95	AL-TA	13.06
AL-TL	13.26	AL-VE	9.42	AL-VL	7.56
AR-AT	12.27	AR-AZ	17.00	AR-CM	20.84
AR-EA	20.06	AR-EC	11.29	AR-GO	15.80
AR-GU	15.76	AR-LA	21.89	AR-LI	13.60
AR-MT	8.66	AR-NA	17.14	AR-NA	10.29
AR-PT	15.45	AR-RA	7.81	AR-RS	8.22
AR-SC	17.07	AR-SM	14.74	AR-ST	8.01
AR-TA	15.20	AR-TL	2.95	AR-VE	6.78
AR-VL	13.01	AT-AZ	9.23	AT-CM	14.76
AT-EA	22.55	AT-EC	5.35	AT-GO	3.64
AT-GU	7.03	AT-LA	13.49	AT-LI	6.24
AT-MT	9.29	AT-NA	6.54	AT-NA	3.47
AT-PT	3.23	AT-RA	4.54	AT-RS	6.18
AT-SC	15.67	AT-SM	3.03	AT-ST	6.94
AT-TA	3.35	AT-TL	9.74	AT-VE	7.71
AT-VL	3.34	AZ-CM	5.57	AZ-EA	16.75
AZ-EC	14.53	AZ-GO	10.08	AZ-GU	2.23
AZ-LA	4.93	AZ-LI	3.61	AZ-MT	17.82
AZ-NA	14.20	AZ-NA	12.39	AZ-PT	9.62
AZ-RA	10.65	AZ-RS	8.84	AZ-SC	8.91

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS  
EN FUNCION DE O DE LA ZONA NORTE

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
AZ-SM	7.05	AZ-ST	15.28	AZ-TA	10.79
AZ-TL	14.06	AZ-VE	10.24	AZ-VL	5.98
CM-EA	14.22	CM-EC	20.02	CM-GO	15.56
CM-GU	7.80	CM-LA	4.10	CM-LI	8.35
CM-MT	23.01	CM-NA	19.67	CM-RA	10.81
CM-PT	15.13	CM-RA	15.60	CM-RS	10.21
CM-SC	7.00	CM-SM	12.60	CM-ST	20.47
CM-TA	16.32	CM-TL	18.00	CM-VE	14.20
CM-VL	11.44	EA-EC	26.26	EA-GO	25.21
EA-GU	18.15	EA-LA	18.25	EA-LI	17.15
EA-MT	26.80	EA-NA	28.99	EA-NX	23.96
EA-PT	24.68	EA-RA	20.22	EA-RS	17.17
EA-SC	7.86	EA-SM	22.14	EA-ST	24.74
EA-TA	25.51	EA-TL	18.65	EA-VE	16.57
EA-VL	19.82	EC-GO	6.82	EC-GU	12.36
EC-LA	18.85	EC-LI	11.32	EC-MT	4.77
EC-NA	6.20	EC-NX	2.35	EC-PT	6.82
EC-RA	6.07	EC-RS	9.09	EC-SC	20.13
EC-SM	8.16	EC-ST	3.44	EC-TA	5.83
EC-TL	9.81	EC-VE	9.89	EC-VL	8.59
GO-GU	7.92	GO-LA	13.34	GO-LI	8.14
GO-MT	11.50	GO-NA	4.12	GO-RA	6.02
GO-PT	0.53	GO-RA	8.16	GO-RS	9.67
GO-SC	17.70	GO-SM	5.16	GO-ST	9.24
GO-TA	1.03	GO-TL	13.35	GO-VE	11.25
GO-VL	5.40	GU-LA	6.66	GU-LI	2.22
GU-MT	15.81	GU-NA	12.04	GU-NX	10.22
GU-PT	7.45	GU-RA	8.88	GU-RS	7.54
GU-SC	10.43	GU-SM	4.84	GU-ST	10.29
GU-TA	8.59	GU-TL	12.81	GU-VE	9.13
GU-VL	3.80	LA-LI	8.50	LA-MT	22.46
LA-NA	17.29	LA-NX	16.85	LA-PT	13.00
LA-RA	15.50	LA-RS	13.76	LA-SC	10.71
LA-SM	10.80	LA-ST	19.97	LA-TA	14.24
LA-TL	18.96	LA-VE	15.12	LA-VL	10.44
LI-MT	14.30	LI-NA	12.12	LI-NX	7.07
LI-PT	7.62	LI-RA	7.05	LI-RS	5.38
LI-SC	9.76	LI-SM	5.01	LI-ST	11.72
LI-TA	8.58	LI-TL	10.65	LI-VE	6.93
LI-VL	2.95	MT-NA	10.78	MT-NX	5.83
MT-PT	11.43	MT-RA	7.50	MT-RS	10.39
MT-SC	21.75	MT-SM	12.31	MT-ST	2.34
MT-TA	10.54	MT-TL	8.46	MT-VE	10.38

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS  
 EN FUNCION DE G DE LA ZONA NORTE

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
MT-VL	12.04	NA-NA	6.88	NA-PT	4.59
NA-RA	10.34	NA-RB	12.82	NA-SC	21.86
NA-SM	7.23	NA-ST	9.61	NA-TA	3.54
NA-TL	15.17	NA-VE	14.00	NA-VL	9.24
NX-PT	5.83	NX-RA	3.90	NX-RS	6.82
NX-SC	17.78	NX-SM	6.48	NX-ST	3.59
NX-TA	5.19	NX-TL	8.32	NX-VE	7.77
NX-VL	6.48	PT-RA	7.77	PT-RB	9.19
PT-SC	17.38	PT-SM	2.85	PT-ST	9.40
PT-TA	1.25	PT-TL	12.97	PT-VE	10.81
PT-VL	4.87	RA-RS	3.09	RA-SC	14.43
RA-SM	6.95	RA-ST	5.02	RA-TA	7.72
RA-TL	5.20	RA-VE	3.86	RA-VL	5.49
RS-SC	11.39	RS-SM	7.50	RS-ST	8.00
RS-TA	9.52	RS-TL	5.27	RS-VE	1.75
RS-VL	5.26	SC-SM	14.75	SC-ST	19.39
SC-TA	18.33	SC-TL	14.74	SC-VE	11.50
SC-VL	12.63	SM-ST	9.97	SM-TA	3.75
SM-TL	12.00	SM-VE	9.24	SM-VL	2.48
ST-TA	8.66	ST-TL	6.79	ST-VE	8.19
ST-VL	9.54	TA-TL	12.86	TA-VE	11.06
TA-VL	5.71	TL-VE	3.87	TL-VL	10.14
VE-VL	7.01	-	0.00	-	0.00

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS  
 EN FUNCION DE G DE LA ZONA CENTRO

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
AP-BA	6.11	AF-BO	12.90	AF-CH	8.49
AF-CI	5.30	AF-DO	5.71	AF-CT	2.23
AF-DO	3.65	AF-EO	14.36	AF-MA	2.49
AF-MC	5.32	AF-ML	2.33	AF-MO	5.16
AF-NE	14.04	AF-PE	4.02	AF-FL	6.10
AF-FV	3.63	AF-RO	4.44	AF-SB	2.62
AF-SF	14.72	AF-SO	8.43	AF-TC	1.47
AF-TE	10.96	AF-TO	14.08	AF-TY	6.37
AF-VD	4.68	AF-VI	2.04	AF-ZA	10.30
AP-ZO	2.34	BA-BO	16.01	BA-CH	12.66
BA-CI	7.05	BA-DO	8.27	BA-CT	5.61
BA-DO	5.24	BA-EO	8.28	BA-MA	6.76
BA-MC	1.26	BA-ML	4.34	BA-MO	10.00
BA-NE	8.20	BA-PE	8.54	BA-FL	10.81
BA-FV	8.06	BA-RO	7.39	BA-SB	8.67
BA-SF	16.87	BA-SO	13.66	BA-TC	7.20
BA-TE	15.05	BA-TO	9.20	BA-TY	5.72
BA-VD	3.70	BA-VI	5.69	BA-ZA	4.20
BA-ZO	3.83	BO-CH	4.75	BO-CI	6.97
BO-CO	7.83	BO-CT	11.36	BO-DO	10.46
BO-EO	22.87	BO-MA	10.51	BO-MC	16.19
BO-ML	14.82	BO-MO	8.04	BO-NE	23.50
BO-PE	16.08	BO-FL	7.19	BO-FV	5.27
BO-RO	8.93	BO-SB	11.63	BO-SF	2.95
BO-SO	7.00	BO-TC	13.63	BO-TE	1.68
BO-TO	25.21	BO-TY	6.44	BO-VD	12.31
BO-VI	11.43	BO-ZA	19.30	BO-ZO	13.46
CH-CI	5.90	CH-DO	4.62	CH-CT	7.36
CH-DO	7.42	CH-EO	20.35	CH-MA	6.33
CH-MC	12.56	CH-ML	10.62	CH-MO	3.40
CH-NE	20.72	CH-PE	11.39	CH-FL	2.49
CH-FV	4.97	CH-RO	5.27	CH-SB	6.91
CH-SF	7.29	CH-SO	2.95	CH-TC	9.04
CH-TE	2.48	CH-TO	21.76	CH-TY	4.86
CH-VD	9.12	CH-VI	7.37	CH-ZA	16.46
CH-ZO	9.51	CI-CO	1.26	CI-CT	3.12
CI-DO	2.12	CI-EO	14.46	CI-MA	3.04
CI-MC	7.24	CI-ML	6.45	CI-MO	4.36
CI-NE	14.91	CI-PE	5.29	CI-FL	4.75
CI-FV	3.00	CI-RO	1.30	CI-SB	5.68
CI-SF	10.10	CI-SO	7.69	CI-TC	6.62
CI-TE	8.13	CI-TO	16.36	CI-TY	2.97
CI-VD	3.37	CI-VI	3.29	CI-ZA	10.62

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS

EN FUNCION DE G DE LA ZONA CENTRO

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
CI-ZO	4.82	CO-CT	3.73	CO-DO	3.13
CO-EO	15.74	CO-MA	3.24	CO-MC	8.37
CO-ML	7.22	CO-MO	3.41	CO-NE	18.18
CO-FE	9.56	CO-FL	3.87	CO-FV	2.63
CO-RO	1.27	CO-SB	3.71	CO-SF	7.18
CO-SO	6.34	CO-TC	6.87	CO-TE	6.86
CO-TO	17.46	CO-TY	2.59	CO-VD	4.61
EO-VI	3.86	CO-ZA	11.89	CO-ZO	3.71
CT-DO	1.47	CT-EO	13.60	CT-MA	1.15
CT-MC	5.27	CT-ML	3.49	CT-MO	4.41
CT-NE	13.81	CT-FE	6.28	CT-FL	5.27
CT-FV	2.48	CT-RO	2.49	CT-SB	3.69
CT-SF	12.90	CT-SO	8.06	CT-TC	3.65
CT-TE	9.83	CT-TO	14.46	CT-TY	6.00
CT-VD	2.95	CT-VI	9.21	CT-ZA	9.70
CT-ZO	2.15	DO-EU	13.13	DO-MA	2.17
DO-MC	5.24	DO-ML	4.39	DO-MO	4.97
DO-NE	13.34	DO-FE	7.65	DO-FL	5.69
DO-FV	3.99	DO-RO	2.15	DO-SB	5.06
DO-SF	12.20	DO-SO	8.63	DO-TC	3.09
DO-TE	9.82	DO-TO	14.39	DO-TY	5.08
DO-VD	1.86	DO-VI	1.68	DO-ZA	9.13
DO-ZO	2.72	EO-MA	14.94	EO-MC	9.06
EO-ML	12.36	EO-MO	16.08	EO-NE	2.10
EO-FE	16.12	EO-FL	18.82	EO-FV	16.15
EO-RO	15.18	EO-SB	16.94	EO-SF	22.96
EO-SO	21.75	EO-TC	15.33	EO-TE	22.57
EO-TO	5.98	EO-TY	16.45	EO-VD	11.30
EO-VI	13.91	EO-ZA	4.06	EO-ZO	12.12
MA-MC	6.40	MA-ML	4.32	MA-MO	3.28
MA-NE	14.96	MA-FE	6.33	MA-FL	4.15
MA-FV	1.38	MA-RO	1.99	MA-SB	2.77
MA-SF	12.24	MA-SO	6.91	MA-TC	3.64
MA-TE	8.81	MA-TO	15.57	MA-TY	5.62
MA-VD	3.92	MA-VI	1.09	MA-ZA	10.88
MA-ZO	3.22	MC-ML	3.31	MC-MO	9.68
MC-NE	6.72	MC-FE	7.36	MC-FL	10.54
MC-FV	7.76	MC-RO	7.36	MC-SB	7.93
MC-SF	17.25	MC-SO	13.29	MC-TC	6.25
MC-TE	15.00	MC-TY	9.20	MC-TY	10.07
MC-VD	4.64	MC-VI	3.31	MC-ZA	5.06
MC-ZO	3.24	ML-MO	1.37	ML-NE	11.88
ML-FE	4.30	ML-FL	8.31	ML-FV	5.65

- TABLA # 21 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS  
EN FUNCION DE G DE LA ZONA CENTRO

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
ML-RO	5.98	ML-SB	4.89	ML-SF	16.39
ML-SO	10.75	ML-TC	2.97	ML-TE	13.10
ML-TO	11.76	ML-TY	9.41	ML-VD	4.47
ML-VI	3.40	ML-ZA	8.37	ML-ZO	1.70
MO-NE	18.19	MO-PE	8.04	MO-FL	0.94
MO-FV	1.94	MO-RO	3.15	MO-SB	0.58
MO-SF	10.28	MO-SO	3.67	MO-TC	3.64
MO-TE	5.82	MO-TO	18.84	MO-TY	3.24
MO-VD	6.82	MO-VI	4.37	MO-ZA	14.05
MO-ZO	6.48	NE-PE	15.29	NE-FL	18.99
NE-PV	16.25	NE-RO	15.47	NE-SB	16.66
NE-SF	23.94	NE-SO	21.86	NE-TC	14.84
NE-TE	23.04	NE-TO	3.88	NE-TY	17.16
NE-VD	11.60	NE-VI	13.89	NE-ZA	4.31
NE-ZO	11.93	PE-FL	8.91	PE-FV	7.10
PE-RO	8.32	PE-SB	4.45	PE-SF	18.21
PE-SO	10.35	PE-TC	2.69	PE-TE	13.79
PE-TO	14.28	PE-TY	11.95	PE-VD	8.41
PE-VI	6.06	PE-ZA	12.30	PE-ZO	5.66
PL-FV	2.79	PL-RO	3.71	PL-SB	4.45
PL-SF	9.53	PL-SO	2.97	PL-TC	6.56
PL-TE	4.89	PL-TO	19.73	PL-TY	5.12
PL-VD	7.52	PL-VI	5.24	PL-ZA	14.82
PL-ZO	7.37	FV-RO	1.71	FV-SB	3.08
FV-SF	11.15	FV-SO	3.61	FV-TC	4.50
FV-TE	7.45	FV-TO	16.94	FV-TY	4.57
FV-VD	4.95	FV-VI	2.46	FV-ZA	12.12
FV-ZO	4.60	RO-SB	4.66	RO-SF	10.42
RO-SO	6.68	RO-TC	5.63	RO-TE	7.66
RO-TO	16.53	RO-TY	3.64	RO-VD	3.68
RO-VI	2.60	RO-ZA	11.23	RO-ZO	4.53
SB-SF	13.84	SB-SO	6.18	SB-TC	2.31
SB-TE	9.27	SB-TO	16.63	SB-TY	5.04
SB-VD	6.62	SB-VI	3.50	SB-ZA	12.87
SB-ZO	4.84	SF-SO	9.83	SF-TC	15.64
SF-TE	6.00	SF-TO	25.94	SF-TY	7.19
SF-VD	13.23	SF-VI	13.01	SF-ZA	19.70
SF-ZO	14.87	SO-TC	8.46	SO-TE	3.96
SO-TO	22.40	SO-TY	7.51	SO-VD	16.47
SO-VI	7.99	SO-ZA	17.72	SO-ZO	16.06
TC-TE	11.44	TC-TO	14.52	TC-TY	9.26
TC-VD	6.13	TC-VI	3.44	TC-ZA	11.21
TC-ZO	3.63	TE-TO	24.19	TE-TY	6.45

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS  
 EN FUNCION DE G DE LA ZONA LENTRO

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
TE-VD	11.45	TE-VI	9.85	TE-ZA	18.75
TE-ZO	11.98	TO-TY	18.87	TO-VD	12.90
TO-VI	14.48	TO-ZA	6.61	TO-ZO	12.36
TY-VD	6.05	TI-VI	6.15	TY-ZA	12.86
TY-ZO	7.79	VD-VI	3.13	VD-ZA	7.35
VD-ZO	2.80	VI-ZA	9.84	VI-ZO	2.14
ZA-ZO	8.04	-	0.00	-	0.00

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS

EN FUNCION DE G DE LA ZONA SUR

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
AB-CA	13.82	AB-CL	8.12	AB-CF	13.77
AB-CR	16.15	AB-CU	9.02	AB-ES	1.86
AB-HI	7.54	AB-IX	5.08	AB-MG	4.11
AB-MI	12.86	AB-MY	4.92	AB-PD	18.11
AB-PI	9.71	AB-FU	6.91	AB-PP	9.48
AB-QU	11.24	AB-SA	13.98	AB-SJ	16.84
AB-SR	10.99	AB-TF	17.35	AB-UR	16.76
AB-VA	16.76	AB-VG	12.43	AB-XO	17.94
CA-CL	12.54	CA-CF	15.44	CA-CR	10.56
CA-CU	7.35	CA-ES	13.55	CA-HI	8.35
CA-IX	9.12	CA-MG	11.26	CA-MI	2.11
CA-MY	17.74	CA-PD	8.56	CA-PI	9.55
CA-PO	6.92	CA-PP	4.41	CA-QU	4.55
CA-SA	3.25	CA-SJ	5.90	CA-SR	2.90
CA-TF	13.81	CA-UR	4.36	CA-VA	5.57
CA-VG	12.96	CA-XO	19.86	CL-CF	5.70
CL-CR	9.27	CL-CU	5.18	CL-ES	6.32
CL-HI	11.54	CL-IX	8.91	CL-MG	10.17
CL-MI	12.89	CL-MY	6.21	CL-PD	12.55
CL-PI	14.39	CL-FO	8.19	CL-PP	6.87
CL-QU	8.13	CL-SA	10.76	CL-SJ	12.55
CL-SR	9.97	CL-TF	9.59	CL-UR	12.01
CL-VA	12.97	CL-VG	4.35	CL-XO	10.17
CF-CR	7.54	CF-CU	8.85	CF-ES	11.52
CF-HI	16.73	CF-IX	14.32	CF-MG	15.80
CF-MI	16.45	CF-MY	12.85	CF-PD	11.87
CF-PI	19.56	CF-FO	13.12	CF-PP	12.90
CF-QU	10.96	CF-SA	12.73	CF-SJ	13.10
CF-SR	13.53	CF-TF	5.80	CF-UR	16.28
CF-VA	17.48	CF-VG	2.48	CF-XO	4.73
CR-CU	7.53	CR-ES	14.71	CR-HI	15.52
CR-IX	14.14	CR-MG	16.29	CR-MI	12.27
CR-MY	17.43	CR-PD	4.40	CR-PI	17.95
CR-PO	11.97	CR-PP	10.25	CR-QU	7.29
CR-SA	7.32	CR-SJ	6.21	CR-SR	9.98
CR-TF	3.36	CR-UR	13.25	CR-VA	14.67
CR-VG	5.90	CR-XO	10.63	CU-ES	7.91
CU-HI	8.40	CU-IX	6.65	CU-MG	6.77
CU-MI	7.85	CU-MY	11.54	CU-PD	9.09
CU-PI	11.10	CU-FO	4.70	CU-PP	4.06
CU-QU	3.01	CU-SA	5.80	CU-SJ	6.21
CU-SR	4.89	CU-TF	9.62	CU-UR	7.43
CU-VA	8.64	CU-VG	6.46	CU-XO	13.55

- TABLA # 22 -



MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS  
EN FUNCION DE G DE LA ZONA SUR

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
CU-XO	13.58	ES-HI	8.34	ES-IX	5.58
ES-MG	5.35	ES-MI	12.88	ES-MY	4.27
ES-PD	16.98	ES-FI	10.81	ES-FG	6.83
ES-PP	5.15	ES-QU	10.44	ES-SA	13.27
ES-SJ	16.05	ES-SR	10.66	ES-TF	15.70
ES-UR	10.93	ES-VA	11.24	ES-VG	10.67
ES-XO	16.06	HI-IX	2.86	HI-MG	3.66
HI-MI	6.65	HI-MY	12.40	HI-PD	15.54
HI-FI	2.85	HI-PD	3.71	HI-PP	5.44
HI-QU	8.42	HI-SA	10.12	HI-SJ	13.42
HI-SR	6.37	HI-TF	17.98	HI-UR	4.12
HI-VA	3.54	HI-VG	14.56	HI-XO	21.44
IX-MG	2.31	IX-MI	7.92	IX-MY	9.76
IX-PD	14.94	IX-FI	5.60	IX-PD	2.45
IX-PP	5.10	IX-QU	7.66	IX-SA	9.98
IX-SJ	13.21	IX-SR	6.49	IX-TF	16.23
IX-UR	5.64	IX-VA	5.71	IX-VG	12.30
IX-XO	18.95	MG-MI	9.87	MG-MY	9.03
MG-PD	17.24	MG-FI	5.60	MG-PD	4.76
MG-PP	7.39	MG-QU	9.97	MG-SA	12.29
MG-SJ	15.52	MG-SR	8.74	MG-TF	18.21
MG-UR	7.43	MG-VA	7.14	MG-VG	13.96
MG-XO	20.34	MI-MY	17.15	MI-PD	10.61
MI-FI	7.53	MI-PD	6.06	MI-PP	4.09
MI-QU	5.53	MI-SA	5.13	MI-SJ	7.99
MI-SR	2.96	MI-TF	15.42	MI-UR	2.53
MI-VA	3.55	MI-VG	13.97	MI-XO	21.01
MY-PD	20.32	MY-FI	14.63	MY-PD	11.10
MY-PP	13.34	MY-QU	14.33	MY-SA	17.19
MY-SJ	19.74	MY-SR	14.84	MY-TF	17.70
MY-UR	15.20	MY-VA	15.46	MY-VG	12.39
MY-XO	16.12	PD-FI	17.50	PD-PD	12.52
PD-PP	10.13	PD-QU	7.29	PD-SA	5.60
PD-SJ	2.77	PD-SR	9.25	PD-TF	7.41
PD-UR	12.33	PD-VA	13.72	PD-VG	9.99
PD-XO	14.97	PI-PD	6.48	PI-PP	7.71
PI-QU	10.71	PI-SA	11.92	PI-SJ	15.15
PI-SR	8.27	PI-TF	20.57	PI-UR	5.25
PI-VA	3.99	PI-VG	17.36	PI-XO	24.26
PO-PP	2.69	PO-QU	5.23	PO-SA	7.54
PO-SJ	10.76	PO-SR	4.15	PO-TF	14.30
PO-UR	4.23	PO-VA	4.89	PO-VG	10.89
PO-XO	17.84	PP-QU	3.01	PP-SA	4.90

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS  
 EN FUNCION DE G DE LA ZONA SUR

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
PP-SJ	8.17	PP-SR	1.52	PP-TF	12.47
PP-UR	3.59	PP-VA	4.67	PP-VG	10.44
PP-XO	17.59	QU-SA	3.86	QU-SJ	5.71
QU-SR	2.79	QU-TF	10.16	QU-UR	6.91
QU-VA	7.41	QU-VG	8.48	QU-XO	15.48
SA-SJ	3.30	SA-SR	3.75	SA-TF	10.61
SA-UR	6.73	SA-VA	8.12	SA-VG	10.31
SA-XO	16.96	SJ-SR	7.05	SJ-TF	9.52
SJ-UR	9.91	SJ-VA	11.27	SJ-VG	10.91
SJ-XO	16.75	SR-TF	12.94	SR-UR	3.27
SR-VA	4.70	SR-VG	11.07	SR-XO	18.14
TF-UR	16.17	TF-VA	17.56	TF-VG	5.31
TF-XO	7.69	UR-VA	1.43	UR-VG	13.87
UR-XO	20.97	VA-VG	15.10	VA-XO	22.19
VG-XO	7.10	-	0.00	-	0.00

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS  
 EN FUNCION DE G DE LA FRONTERA N-L

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
LA-TU	13.86	LA-ZA	15.60	LA-MC	11.17
AG-MC	8.45	AG-ML	5.63	AG-FE	5.13
GU-FE	3.01	VL-FE	6.32	SM-FE	6.17
SM-TC	5.61	SM-SB	4.25	FT-SB	4.27
FT-MA	7.91	FT-MD	5.55	FT-PL	6.15
TA-FL	5.85	TA-SO	5.00	NA-SO	0.47
NA-TE	5.93	MO-TA	5.71	-	0.00

- TABLA # 23 -

MATRIZ DE DISTANCIAS CALCULADAS  
 EN FUNCION DE G DE LA FRONTERA C-S

ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA	ENLACE	DISTANCIA CALCULADA
SF-CA	6.41	TY-MI	3.89	TY-CA	5.74
TY-UR	3.56	TY-VA	2.79	CI-VA	3.46
CI-FI	2.51	DO-FI	2.00	VD-FI	1.40
BA-FI	5.04	BA-MG	4.83	MC-MG	6.10
ZA-MG	4.90	ZA-AB	4.99	EO-AB	5.56
EO-MG	7.86	EO-MY	5.61	NE-MY	7.74

- TABLA # 24 -

### III METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE LA RED AUXILIAR

El objetivo de este capítulo es establecer y desarrollar los procedimientos para el diseño de la Red Auxiliar de rutas alternas entre centrales tandem del D.F. , mediante el uso de diferentes algoritmos de optimización combinatoria. El diseño de la red se realizó en dos etapas. En la primera etapa se obtiene el circuito que enlaza a las seis centrales tandem. El problema de encontrar dicho circuito se plantea como un problema del agente viajero, ya que nos vemos limitado a buscar una solución bajo la hipótesis de una conexión doble para cada central tandem. Esto, con objeto de asegurar una conexión "suficiente" en la red y al mismo tiempo económica, ya que el costo depende directamente de la distancia.

En la segunda etapa se obtienen las rutas alternas tomando como guía los enlaces que conforman el circuito obtenido en la primera etapa. Esto se basa en la hipótesis de que el comportamiento de las calles en todo el D.F. es más o menos homogéneo y se confirma con el análisis realizado al final de la 4ª sección del capítulo III.

Este capítulo contiene cuatro secciones:

En la primera sección se describe el problema del agente viajero definiéndose los conceptos básicos que se utilizan en su planteamiento.

En la segunda sección se realiza la modelización para encontrar el circuito de la red auxiliar como un problema del agente viajero.

En la tercera sección se describen tres algoritmos que resuelven el problema del agente viajero, analizándose las ventajas y

desventajas de cada uno de ellos.

En la cuarta seccion se lleva a cabo la aplicacion del algoritmo de Dijkstra de rutas mas cortas para encontrar las rutas alternas de enlace entre centrales tandem del D.F. .

En la quinta seccion se propone una alternativa en el diseho de la red auxiliar con objeto de establecer una mayor conexi6n en la red auxiliar propuesta.

### III.1 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO

Los conceptos básicos que se utilizan en el planteamiento del Problema del Agente Viajero son:

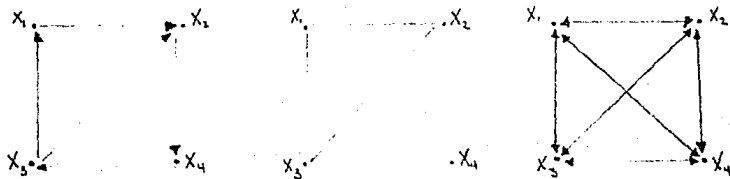
- Una Gráfica es una pareja de conjuntos  $(X, A)$ , donde  $X$  es un conjunto finito de elementos llamados vértices o nodos y  $A \subset X \times X$  es un conjunto de líneas que unen todos o algunos de los vértices. Se denota con  $G = (X, A)$ .

Si los elementos de  $A$  tienen una dirección, representada con una flecha, se llaman arcos y se dice que la gráfica  $G$  es dirigida u orientada. Si no tiene dirección se llaman aristas y  $G$  es no dirigida.

Un arco puede representarse como la pareja  $(i, j)$  donde  $i, j \in X$ , son los vértices que unen dicho arco.

- Una gráfica  $G = (X, A)$  es una Gráfica Completa si para cada par de vértices  $x_i, x_j$  en  $X$  existe un arco que los une.

Ejemplos:



Gráfica dirigida

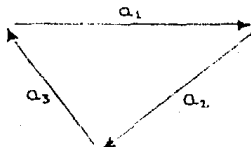
Gráfica no dirigida

Gráfica completa

- FIGURA # 22 -

- Un camino es una sucesión alternada de vértices y arcos tal que para cada arco de la sucesión, el vértice que lo precede

- es su vértice inicial, y el que le sucede es su vértice final.
- Un circuito es un camino en el cual el vértice inicial del primer arco coincide con el vértice final del último arco.



- FIGURA # 23 -

- Un Circuito Hamiltoniano se define como un circuito que pasa a través de los  $n$  vértices de una gráfica una y solo una vez. (Ver figura # 23).

Una vez mencionados estos conceptos se plantearán algunas aplicaciones prácticas, por ejemplo, considerar el problema en el cual un vehículo sale de una bodega para entregar víveres a un número dado de consumidores y regresa a la bodega. El costo del viaje es proporcional al total de la distancia recorrida por el vehículo así que dada la matriz de distancias entre consumidores, encontrar el viaje de menor costo es la solución al problema del agente viajero. Problemas de tipo similar ocurren en la recolección del correo postal, en los horarios de los autobuses escolares considerando un número de paradas, etc. . Estas aplicaciones pueden ser representadas mediante una gráfica y la solución se da al encontrar el circuito hamiltoniano de menor costo en la gráfica.

El problema de encontrar el circuito Hamiltoniano de menor cos-

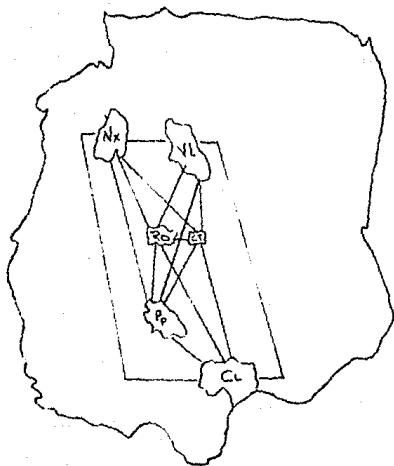


to es ampliamente conocido en la literatura como el Problema del Agente Viajero.

En la siguiente seccion el problema del diseho de la red auxiliar entre centrales tandem del D.F. se planteará como una aplicacion del problema del agente viajero.

### III.2 MODELIZACION DEL PROBLEMA PLANTEADO COMO UN PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO

En el problema propuesto en el capítulo I, sección C, se planteó la necesidad del diseño de una red auxiliar para la red intertandem del D.F. En la figura # 24 se muestra la ubicación y la forma en que están conectadas entre sí las seis centrales tandem.



- FIGURA # 24 -

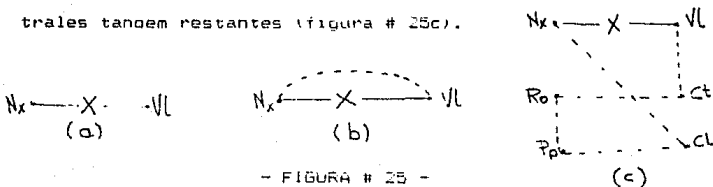
Con el diseño de la red auxiliar se pretende prever la posibilidad de que queden incomunicadas dos o mas areas tandem, por el rompimiento de algunos enlaces existentes.

Entonces se requiere que la red auxiliar conecte a las seis centrales tandem al menor costo posible.

Es decir, si ocurre un rompimiento en alguno de los enlaces entre dos centrales tandem, es necesario garantizar que estas dos centrales tandem queden enlazadas por una ruta alterna.

Si se planteara como solución el generar un arbol de peso minimo, se garantizaría que las 6 centrales tandem, queden conectadas. Para prevenir el caso en que una o mas de las centrales tandem quedaran desconectadas al averiarse uno de los enlaces que conformaran el arbol, se sugiere como mejor opción la generación de un circuito.

Es importante señalar que con la generación de un circuito la posibilidad de que dos centrales tandem queden incomunicadas disminuye considerablemente, ya que se generan dos alternativas. Por ejemplo suponga que el enlace entre la central Vallejo (Vl) y la central Nextengo (Nx), se rompe como se muestra en la figura # 25a, entonces quedan comunicadas mediante la ruta alterna, del circuito, entre Vl y Nx (figura # 25b), o bien mediante las rutas alternas del circuito que comunican a las centrales tandem restantes (figura # 25c).



- FIGURA # 25 -

Cabe mencionar que el costo de cable de línea óptica para enlazar estas seis centrales es proporcional al total de la distancia de enlace entre cada tandem. Partiendo de esta idea hipotética se optó por adaptar el problema planteado al problema del agente viajero, ya que se requiere encontrar un circuito que una a las seis centrales tandem al costo más bajo posible.

Una forma de resolver el problema del agente viajero es haciendo una enumeración exhaustiva de todas las soluciones posibles y entre ellas escoger la mejor. Hay  $n!$  permutaciones de los  $n$  nodos, pero solo  $(n-1)!$  de ellas son circuitos hamiltonianos distintos (en una gráfica dirigida completa), porque podemos fijar alguno de los  $n$  nodos, y posteriormente hay  $(n-1)!$  formas de acomodar los  $(n-1)$  nodos restantes en el circuito. En caso de que la red dada no sea una red dirigida entonces hay  $(n-1)!/2$  circuitos hamiltonianos distintos.

Teóricamente el problema se puede resolver generando los  $(n-1)!$  circuitos y comparando sus pesos, sin embargo como método este es muy ineficiente.

Se sabe que el problema del agente viajero es uno de los problemas de optimización combinatoria para el cual, hasta ahora, no se conoce un algoritmo que lo resuelva en tiempo polinomial.<sup>(1)</sup> Para la determinación del circuito que se requiere encontrar para la Red Auxiliar se tomaron en cuenta las consideraciones

(1) Ver ref. [5] pag. 178

anteriormente mencionadas, pero resulta que nuestro problema es un problema de dimensiones pequeñas, solo tenemos seis nodos; lo cual hace muy sencilla la labor, aun si se quisiera considerado la búsqueda exhaustiva,  $(n - 1)! \cdot 2 = 60$  circuitos, es posible encontrar el de menor costo sin mayor problema. Sin embargo, nos interesa encontrar la solución óptima a través de tres algoritmos, los cuales se describen en la siguiente sección.

### III.3 ALGORITMOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACION DEL CIRCUITO HAMILTONIANO OPTIMO EN LA RED AUXILIAR

#### III.3.1 Metodo Algebraico:

Este metodo esta basado en el trabajo de Gau, Vanleison y Dhawan (1968)<sup>(1)</sup>, el cual involucra la generacion de todos los circuitos hamiltonianos por multiplicacion sucesiva de matrices. El producto "interno de vertices" de un camino  $x_1, x_2, \dots, x_k$  esta definido como la secuencia de vertices  $x_2, \dots, x_{k-1}$ , excluyendo a los dos vertices terminales  $x_1, x_k$ . La matriz adyacente de variables modificadas se define como  $B = [B(i,j)]$  la cual es una matriz  $n \times n$  donde  $B(i,j) = x_j$  si hay un arco de  $x_i$  a  $x_j$  y cero en otro caso.

Ahora supongase que se tiene una matriz  $P_L = [P_L(i,j)]$  donde  $P_L(i,j)$  es la suma del producto "interno de vertices" de todos los caminos de cardinalidad  $l$  entre el vertice  $x_i$  y el vertice  $x_j$ , para  $x_i \neq x_j$ , suponga que  $P_L(i,i) = 0 \forall i$ , el producto ordinario de la matriz algebraica  $B \cdot P_L \equiv P_{L+1} = [P_{L+1}(s,t)]$  esta dado por:

$$P_{L+1}(s,t) = \sum_k B(s,k) \cdot P_L(k,t) \quad (1)$$

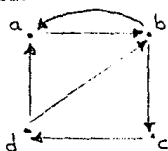
por lo tanto  $P_{L+1}(s,t)$  es la suma del producto interno de todos los caminos de  $x_s$  a  $x_t$  de cardinalidad  $l+1$ . Asi todos los caminos de  $x_k$  a  $x_k$  representados por el producto interno de vertices de  $P_L(k,t)$  son circuitos, los unicos no circuitos que pueden resultar de la expresion (1) son aquellos en los que el producto interno de vertices en  $P_L(k,t)$  contiene al vertice  $x_s$ . Entonces si todos los terminos que contienen a  $x_s$  son

(1) Ver ref. [2] pags. 217-221

eliminados de  $Q_{L+1}(s,t)$ , la matriz  $F_{L+1} = [p_{L+1}(s,t)]$  con todos los elementos de la diagonal igual a cero, es entonces la matriz de todos los circuitos de cardinalidad  $l+1$ , continuando de esta forma  $B \cdot F_{L+1}$  producirá  $F_{L+2}$ , así sucesivamente hasta que la matriz de circuitos  $F_{n-1}$  sea generada, la cual contendrá todos los circuitos hamiltonianos entre todo par de vertices.

Ejemplo:

Considerese la grafica:



la matriz adyacente es:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

y la matriz adyacente de variables modificadas es:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & b & 0 & 0 \\ a & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d \\ a & b & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Sea  $F_1 \equiv A$

$$P_2' = B \cdot P_1$$

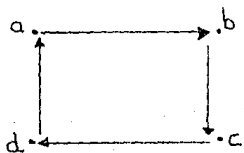
$$\text{entonces } P_2' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c \\ d & d & 0 & 0 \\ b & a & b & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{y } P_3 = B \cdot P_2'$$

$$\text{entonces } P_3 = \begin{matrix} & a & b & c & a \\ a & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & bc \\ ca & 0 & 0 & 0 \\ db & da & 0 & 0 \\ 0 & 0 & ab & 0 \end{bmatrix} \\ b & \\ c & \\ d & \end{matrix}$$

La matriz de circuitos hamiltonianos es  $P_3$ . el circuito hamiltoniano que se forma del vertice a al vertice a queda determinado por un circuito el cual corresponde al elemento (1, 4) de esta matriz  $P_3$  se forma entonces el circuito:

a b c d a que es el unico circuito hamiltoniano que existe en la grafica. (Ver figura # 26 ).



- FIGURA # 26 -

La desventaja que presenta el metodo algebraico es que debido al proceso continuo de multiplicacion de matrices, los elemen-



tos de la matriz resultante van creciendo en cada multiplicación y por lo tanto se requiere mayor capacidad de memoria y tiempo de procesamiento. Sin embargo existe una modificación a este método que reduce considerablemente requerimientos en tiempo y capacidad de memoria. Los circuitos hamiltonianos pueden ser obtenidos del producto sucesivo entre las matrices  $\tilde{B}$  y  $F_{L+1}^i$ , considerando a la matriz  $B$  y la última columna de cada matriz  $F_{L+1}^i$ .

Para encontrar los circuitos hamiltonianos de la grafica que representa a las seis centrales tandem (ver figura # 24), se consideraron la matriz adyacente  $A$  y la matriz adyacente de variables modificadas  $B$  mostradas a continuación.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & b & c & d & e & f \\ a & 0 & c & d & e & f \\ a & b & 0 & d & e & f \\ a & b & c & 0 & e & f \\ a & b & c & d & 0 & f \\ a & b & c & d & e & 0 \end{bmatrix}$$

Considerando la modificación del método algebraico mencionada anteriormente se desarrolló el programa # 5, (ver anexo II), para obtener los 60 circuitos hamiltonianos asociados.

Con los circuitos hamiltonianos obtenidos se procedió al cálculo del costo asociado a cada circuito mediante el programa # 6 del anexo II.

La matriz que se uso como insumo para el cálculo del costo asociado a cada circuito se muestra en la tabla # 15. Los elementos de esta matriz se obtuvieron midiendo (en un mapa a escala 1:30 000), la línea recta que une a cada par de centrales tan pronto, con objeto de contar con una distancia mínima para determinar el circuito hamiltoniano óptimo.

Matriz de distancias directas entre centrales tanques:

	Nx	V1	Ro	Ct	Fp	C1
Nx	0	5.97	11.14	11.2	15.2	26.27
V1	5.97	0	9.25	8.06	17.6	23.68
Ro	11.14	9.25	0	2.35	8.41	15.14
Ct	11.2	8.06	2.35	0	9.7	15.53
Fp	15.2	17.6	8.41	9.7	0	7.64
C1	26.27	23.68	15.14	15.53	7.64	0

- TABLA # 15 -

Los 60 circuitos obtenidos aplicando el método algebraico, y el costo asociado a cada circuito se muestran en la tabla # 26.

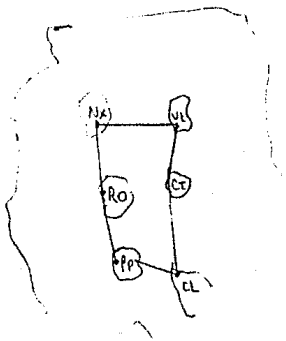
COSTO ASOCIADO A CADA CIRCUITO HAMILTONIANO

CIRCUITO =====	CIRCUITO DE TANDEM S =====	COSTO ASOCIADO =====
ACEFDBA	NA-RO-PF-CL-CT-VL-NA	56.87
ABDEFCDA	NA-VL-CT-PF-CL-RO-NA	57.65
ABCEFDA	NA-VL-RO-PF-CL-CT-NA	58.12
AECDFBA	NA-PF-CL-RO-CT-VL-NA	58.36
ABDCEFA	NA-VL-CT-RO-PF-CL-NA	58.70
ADEFCBA	NA-CT-PF-CL-RO-VL-NA	58.90
ADCEFBFA	NA-CT-RO-PF-CL-VL-NA	59.25
ADCFEBA	NA-CT-RO-CL-PF-VL-NA	59.90
ABCDFEA	NA-VL-RO-CT-CL-PF-NA	60.06
ABEFDBA	NA-VL-PF-CL-CT-RO-NA	60.35
ACDEFBFA	NA-RO-CT-PF-CL-VL-NA	60.48
AFEDCBA	NA-CL-PF-CT-RO-VL-NA	61.18
ADBFCEA	NA-CT-VL-CL-PF-RO-NA	70.13
AECFDBA	NA-PF-CL-RO-VL-CT-NA	70.49
ACFEBDA	NA-RO-CL-PF-VL-CT-NA	70.78
AECFBLA	NA-CL-PF-RO-VL-CT-NA	70.80
AEFDBCA	NA-PF-CL-CT-VL-RO-NA	70.94
AFEDBCA	NA-CL-PF-CT-VL-RO-NA	72.06
AEFBDBA	NA-PF-CL-VL-CT-RO-NA	72.07
ABDFCEA	NA-VL-CT-CL-RO-PF-NA	72.43
ACBEFDA	NA-RO-VL-PF-CL-CT-NA	72.48
ADEFBCA	NA-CT-PF-CL-VL-RO-NA	72.61
ACDBEFA	NA-RO-CT-VL-PF-CL-NA	73.06
ADCFEFA	NA-CT-RO-VL-CL-PF-NA	73.32
ABDECFBA	NA-VL-CT-PF-RO-CL-NA	73.55
ABECFDBA	NA-VL-PF-RO-CL-CT-NA	73.97
ABFCEDA	NA-VL-CL-RO-PF-CT-NA	74.10
ADCBEFA	NA-CT-RO-VL-PF-CL-NA	74.31
ABFDECA	NA-VL-CL-CT-PF-RO-NA	74.55
ABCFDEA	NA-VL-RO-CL-CT-PF-NA	74.91
ACFDEBA	NA-RO-CL-CT-PF-VL-NA	75.20
AFDECBFA	NA-CL-CT-PF-RO-VL-NA	75.25
ABFDCEA	NA-VL-CL-CT-RO-PF-NA	75.26
AEDCFBFA	NA-PF-CT-RO-CL-VL-NA	76.04
ABECDFA	NA-VL-PF-RO-CT-CL-NA	76.25
ABEDCFBA	NA-VL-PF-CT-RO-CL-NA	77.03
AECFDBA	NA-PF-RO-CL-VL-CT-NA	83.69
ADBECFA	NA-CT-VL-PF-RO-CL-NA	86.68
AEBDFCA	NA-PF-VL-CT-CL-RO-NA	86.79
AECBDFBA	NA-PF-RO-VL-CT-CL-NA	86.84
AEDBFCA	NA-PF-CT-VL-CL-RO-NA	86.92
AFDBECA	NA-CL-CT-VL-PF-RO-NA	87.13
ACEBDFBA	NA-RO-PF-CT-VL-CL-NA	87.26
ADFBCEA	NA-CT-CL-VL-RO-PF-NA	87.39
AEDBCFA	NA-PF-CT-VL-RO-CL-NA	87.52

COSTO ASOCIADO A CADA CIRCUITO HAMILTONIANO

CIRCUITO =====	CIRCUITO DE TANDEM S =====	COSTO ASOCIADO =====
ACEBFDA	NX-RO-PF-VL-CL-CT-NA	87.88
AECDBFA	NA-PF-RO-CT-VL-CL-NA	87.87
ADFCBEA	NA-CT-CL-RO-VL-PF-NA	88.04
ACFBEDA	NX-RO-CL-VL-PF-CT-NA	88.42
AFBCEDA	NA-CL-VL-RO-PF-CT-NA	88.51
ACBFDEA	NA-RO-VL-CL-CT-PF-NA	88.62
AFCDBEA	NA-CL-RO-CT-VL-PF-NA	88.62
ADEBCFA	NX-CT-PF-VL-RO-CL-NA	89.15
AEBFCDA	NA-PF-VL-CL-RO-CT-NA	89.17
AFBECCA	NA-CL-VL-PF-RO-CT-NA	89.51
AFDEBCA	NX-CL-CT-PF-VL-RO-NA	89.61
ACDFBEA	NA-RO-CT-CL-VL-PF-NA	89.81
AEBCDFA	NX-PF-VL-RO-CT-CL-NA	90.32
AFBCDEA	NX-CL-VL-RO-CT-PF-NA	90.45
AFBEDCA	NA-CL-VL-PF-CT-RO-NA	90.74

Se selecciono el circuito de menor costo como solucion al problema planteado, este circuito se muestra en la figura # 27.



- FIGURA # 27 -

El tiempo de procesamiento, sin considerar captura, para encontrar todos los circuitos fue de un minuto, en una pc-gama de 20 megabytes. Se observara que este metodo que encuentra el circuito optimo para la red auxiliar fue suficiente, para nuestro ejemplo, sin embargo representaria serias limitantes en cuanto a capacidad de memoria y tiempo de procesamiento si el numero de nodos es mayor.

Con fines didacticos y con objeto de comparar los resultados obtenidos, se considero la implementacion de dos metodos de ramificacion y acotamiento, los cuales se describen en la siguiente seccion.

### III.3.2 METODOS DE RAMIFICACION Y ACOTAMIENTO CONSIDERADOS

Los metodos de ramificacion y acotamiento son procedimientos enumerativos para resolver problemas de optimizacion discreta. Dichos metodos tienen la caracteristica de jerarquizar las distintas alternativas de solucion al considerar, en general una pequena parte de todas las alternativas posibles, pues las restantes son eliminadas por criterios que establecen que tales alternativas no conducen a la solucion optima.

Uno de los metodos de ramificacion y acotamiento para resolver el problema del agente viajero es el desarrollado por Bellmore y Nemhauser (1968).<sup>(1)</sup>

El procedimiento de este metodo requiere como primer paso de una tecnica para encontrar una cota en una grafica  $G$ , que represente la longitud del circuito hamiltoniano mas corto. A su vez en la tecnica para determinar dicha cota es necesario usar un algoritmo de flujo a costo minimo, y este ultimo algoritmo puede requerir de la utilizacion de un algoritmo de ruta mas corta entre dos nodos, si se opta por utilizar el algoritmo dual de Busaker y Gowen.

Si al encontrar la cota el flujo generado corresponde a un circuito en la grafica  $G$ , entonces el problema del agente viajero queda resuelto.

Si al encontrar la cota el flujo generado corresponde a circuitos disjuntos, se deben generar graficas a partir de  $G$  y encontrar cotas para cada una de ellas regresando al primer paso.

(1) Ver ref. [8] pags. 278-283

Al tratar de implementar este método para encontrar el circuito de la red auxiliar se pudo observar que es un método que necesita como insumos la solución de otros algoritmos, resultando ser un método, para este caso, demasiado extenso en su aplicación y poco práctico para obtener resultados rápidamente, razones por las cuales no se decidió automatizarlo.

El otro método de ramificación y acotamiento considerado, se debe a Little-Murty,<sup>(1)</sup> y se describe y ejemplifica a continuación.

Paso 1.- Dada la matriz de costos  $A$ , se efectúan sustracciones en los renglones y las columnas de la matriz  $A$ , sin permitir que aparezcan valores negativos. Lo cual se logra tomando el elemento de valor mínimo para cada renglón y columna. Con esto obtenemos una cota inferior del problema del viajero al sumar los elementos que se restaron a los renglones y a las columnas. La matriz  $A'$  es la matriz reducida de  $A$ .

Ejemplo:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c & d & e & f \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{matrix} & \begin{bmatrix} \infty & 27 & 40 & 16 & 30 & 15 \\ 7 & \infty & 16 & 1 & 30 & 15 \\ 20 & 10 & \infty & 35 & 5 & 0 \\ 21 & 16 & 25 & \infty & 18 & 18 \\ 12 & 46 & 27 & 18 & \infty & 5 \\ 23 & 5 & 5 & 9 & 5 & \infty \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(1) Ver ref. [4] pag. 98

Los elementos restados por renglón son: 12, 9, 02 respectivamente son: 16, 1, 0, 16, 5, 0. Los elementos restados por columna, en el mismo orden son: 2, 0, 1, 0, 0, 0. La cota inferior es la mínima de los elementos  $\theta_{ij} = 45$ .

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c & d & e & f \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{matrix} & \begin{bmatrix} \infty & 11 & 27 & 0 & 14 & 10 \\ 1 & \infty & 15 & 0 & 24 & 24 \\ 15 & 13 & \infty & 35 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 9 & \infty & 2 & 2 \\ 2 & 41 & 22 & 13 & \infty & 1 \\ 13 & 0 & 0 & 4 & 0 & \infty \end{bmatrix} \end{matrix}$$

**Paso 2.-** Sean  $\Omega$  un nodo del árbol y  $\theta_{ij}$  la cota inferior de este nodo  $\Omega$ , con cada arco  $(i, j)$  con  $a_{ij} = 0$  se debe usar algún arco comenzando en  $i$  y penalizando por  $\alpha_i$ , también se debe usar algún arco en  $j$  y se podría penalizar por  $\beta_j$ , con lo cual  $\theta_{ij} = \alpha_i + \beta_j$  es la penalización de no escoger  $(i, j)$ . Se selecciona el arco que tiene el máximo de los  $\theta_{ij}$ .

Entonces en el ejemplo se tiene que:

$$\theta_{AD} = \alpha_A + \beta_D = 10 + 0 = 10$$

$$\theta_{BD} = \alpha_B + \beta_D = 1 + 0 = 1$$

$$\theta_{CF} = \alpha_C + \beta_F = 5 + 0 = 5$$

$$\theta_{DA} = \alpha_D + \beta_A = 0 + 1 = 1$$

$$\theta_{DB} = \alpha_D + \beta_B = 0 + 0 = 0$$

$$\theta_{EF} = \alpha_E + \beta_F = 2 + 0 = 2$$

$$\theta_{FB} = \alpha_F + \beta_B = 0 + 0 = 0$$

$$\theta_{FC} = \alpha_F + \beta_C = 0 + 9 = 9$$

$$\theta_{FE} = \alpha_F + \beta_E = 0 + 2 = 2$$



Se selecciona el arco (a,d) ya que MAD es el máximo.

Paso 3.- Si el arco (i,j) no se selecciona, evita  $\infty$   $c_{ij}$ , es una cota inferior. Si el arco (i,j) se selecciona entonces la matriz se reduce omitiendo el rengion i y la columna j. Buscar la condicion adicional para excluir subcircuitos posibles.

Siguiendo con el mismo ejemplo, como el arco seleccionado fue (a,d), entonces la matriz se reduce omitiendo el rengion a y la columna d. asimismo, el tiempo entre la localidad d y la a se hace igual a  $\infty$  para evitar usar el arco (d,a); pues se sabe que no forma parte del recorrido hamiltoniano minimo. Si no se hace este tiempo infinito, existe la posibilidad de la aparicion de subcircuitos. En la siguiente tabla se muestra la matriz reducida A, donde se han eliminado el rengion a y la columna d.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c & e & f \end{matrix} \\ \begin{matrix} b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \infty & 15 & 29 & 24 \\ 15 & 10 & \infty & 5 & 0 \\ \infty & 0 & 9 & 2 & 2 \\ 2 & 41 & 22 & \infty & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & \infty \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Paso 4.- Seleccionar el nodo de costo minimo, regresar al paso 1.

El recorrido hamiltoniano optimo en el ejemplo es a - d - c - e - f - b - a con 63 unidades.

Este algoritmo fue aplicado para encontrar el circuito hamiltoniano optimo de la red de seguridad para las líneas telefónicas tandem del D.F., utilizando un programa en lenguaje BASIC. (2)

La matriz de distancias utilizada, se muestra en la tabla # 10 pag. 118, y el circuito hamiltoniano optimo encontrado es:

$$N_1 - V_1 - C_1 - C_2 - P_1 - P_2 - N_1$$

con una distancia total de 26.27, que confirma el resultado obtenido por el metodo algebraico.

Es importante mencionar que este proceso automatizado, sin considerar captura se desarrollo en 4x sec. La desventaja del metodo algebraico es mas eficiente en cuanto al tiempo de calculo y capacidad de memoria. Esto representa una gran ventaja para los casos en los que la determinacion del circuito optimo, no requiere de flexibilidad. Cabe decir en la empresa como Telefonos de Mexico S.A. de C.V. se exige el planteamiento de diferentes alternativas debido a la dinamica que existe en la toma de decisiones.

Por esta razon se considero que la desventaja de tiempo de procesamiento y capacidad de memoria del metodo algebraico, para

---

(2) Este programa fue desarrollado en la tesis de maestria con titulo "Técnicas de Ramificación y Acotamiento de la M. en C. Idalia Flores de la M. DEFFI - UNAM.

este caso, se compensa por la flexibilidad que brinda en cuanto a los resultados que proporciona para la toma de decisiones.

Es decir el hecho de que el método algebraico proporcione todos los circuitos hamiltonianos permite plantear a la empresa diferentes alternativas, en función del costo asociado, y entonces no se restringe a la solución única proporcionada por los otros métodos.

Una vez encontrada la forma en que se deben enlazar optimamente a las seis centrales tandem se procederá a buscar las centrales intermedias que constituirán una ruta alterna auxiliar entre cada central tandem. En la siguiente sección se detalla el procedimiento.

### III.4 APLICACION DEL ALGORITMO DE RUTA MAS CORTA DE DIJKSTRA PARA EL DISEÑO DE LA RED AUXILIAR

La metodología para resolver este problema parte de la hipótesis de que la "tortuosidad" de las calles es homogénea en todo el D.F. (1).

Con el circuito hamiltoniano óptimo obtenido anteriormente, se conoce la forma en que quedan conectadas las 5 centrales tandem. Ahora, se requiere conocer las rutas alternas entre cada par de centrales tandem, las rutas a seguir que propondremos consideraran como posibles puntos intermedios las centrales telefónicas de la red del D.F.. Estas rutas tomaran como guía la forma en que quedan conectadas las centrales tandem en el circuito hamiltoniano óptimo. De esta forma quedara diseñada la red auxiliar de centrales tandem del D.F. .

Para determinar las rutas alternas es conveniente utilizar un algoritmo de ruta mas corta. Se eligió el algoritmo de Dijkstra por ser un algoritmo que determina la ruta mas corta entre dos vertices especificos de una gráfica, condicion que garantiza rapidez y reduccion de memoria en su implementacion. A continuacion se describe y ejemplifica el algoritmo de Dijkstra:

Sea  $s$  = vertice inicial

$t$  = vertice final

$L(x_i)$  = etiqueta del vertice  $x_i$ ,  $x_i \in V$

(1) Esta hipótesis esta basada en los resultados del tercer modelo, ver tabla # 13 pag. 85

Paso 1.- inicio)

Sea  $L(s) = 0$ , marcar la etiqueta como permanente y

$L(x_i) = \infty \quad \forall x_i \neq s$  marcando estas etiquetas como temporales, donde  $p = s$ .

Paso 2.- (actualización de etiquetas)

Para todo  $x_i \in \mathcal{Y}(p)$  y el cual tiene etiquetas temporales, actualizar las etiquetas de acuerdo a:

$$L(x_i) = \min [ L(x_i), L(p) + c(p, x_i) ]$$

fijando una etiqueta permanente.

Paso 3.- de todos los vertices etiquetados temporalmente encontrar  $x_i^*$  para el cual  $L(x_i^*) = \min [ L(x_i) ]$ .

Paso 4.- marcar la etiqueta de  $x_j$  permanente y asignar  $p = x_j^*$

Paso 5.- 1) (Si unicamente la ruta de  $s$  a  $t$  es requerida).

Si  $p = t$ ,  $L(p)$  es la longitud del camino más corto requerido y terminar.

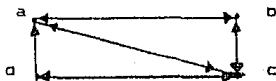
Si  $p \neq t$ , ir al paso 2.

ii) (Si se requiere la ruta de  $s$  a cualquier otro vértice).

Si todos los vertices estan permanentemente etiquetados entonces las etiquetas son las longitudes de los caminos más cortos, terminar.

Si algunas etiquetas son temporales regresar al paso 2.

Ejemplo: Sea la gráfica



donde la matriz de costos asociados es:

	a	b	c	d
a	0	2	6	$\infty$
b	4	0	4	1
c	8	3	0	10
d	7	$\infty$	2	0

Se quiere encontrar la ruta mas corta del vertice a al vertice c.

Paso 1.- (inicio)

Sea  $L(a) = 0^+$

$$L(b) = L(c) = L(d) = \infty$$

$$p = a$$

Paso 2.- (actualizacion de etiquetas)

$$\delta^1(a) = \{ b, c \}$$

$$L(b) = \min. \{ L(b), L(a) + C(a,b) \} = \min. \{ \infty, 0+2 \} = 2$$

$$L(c) = \min. \{ L(c), L(a) + C(a,c) \} = \min. \{ \infty, 0+6 \} = 6$$

Paso 3.-

$$\min \{ 2, 6 \} = 2 \text{ corresponde al vertice b}$$

Paso 4.-

Sea  $L(b) = 2^+$

$$p = b$$

Paso 5.- no todos los vertices tienen etiqueta permanente asi que se regresa al paso 2.

Paso 2.-

$$\delta^1(b) = \{ d, c \}$$

$$L(d) = \min. [ L(d), L(b) + C(b,d) ] = \min. [ \infty, 2+1 ] = 3$$

$$L(c) = \min. [ L(c), L(b) + C(b,c) ] = \min. [ \infty, 2+4 ] = 6$$

Paso 3.-

$$\min. [ 3, 6 ] = 3, \text{ corresponde al vertice } d$$

Paso 4.-

$$\text{Sea } L(d) = 3^+$$

$$p = d$$

Paso 5.- Regresar al paso 2

Paso 2.-

$$(d) = (c)$$

$$L(c) = \min. [ L(c), L(d) + C(d,c) ] = \min. [ \infty, 3+2 ] = 5$$

Paso 3.-

$$\min. [ 5 ] = 5 \text{ corresponde al vertice } c$$

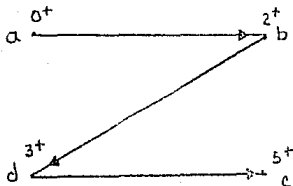
Paso 4.-

$$L(c) = 5^+$$

$$p = c$$

Paso 5.- Todos los vértices están etiquetados permanentemente terminar y  $p = t$ , es decir  $p = c$  y  $L(c)$  es la longitud del camino más corto requerido.

Gráficamente la ruta más corta se muestra en la figura # 30.



- FIGURA # 30 -

De esta forma se obtuvieron las rutas alternas mas cortas entre cada par de centrales tandem, mediante el paquete de ruta mas corta desarrollado en la tesis de licenciatura titulada "Fuerzas de Algoritmos de Resolucion de algunos Problemas de Redes".<sup>(1)</sup> La aplicacion de dicho paquete se llevo a cabo bajo las siguientes consideraciones:

- Para encontrar la ruta alterna mas corta entre las centrales tandem Nextengo (vertice inicial), y Vallejo (vertice final) correspondientes a la zona Norte del D.F. , se incluyeron a las 26 centrales que conforman dicha zona, por lo que la informacion fuente considerada, es la matriz de distancias que se obtuvo mediante el tercer modelo no lineal, el cual describe las distancias en funcion de la variable  $g$ . Esta matriz se encuentra en el capitulo I, seccion 5, tabla # 20.
- Con el mismo criterio se determino la ruta alterna mas corta entre las centrales tandem Popocatepetl y Cuicuilcan correspondientes a la zona Sur, donde el numero de centrales es de 25, y la matriz de distancias considerada se encuentra en el capitulo I, seccion 5, tabla # 21.
- Para encontrar la ruta alterna mas corta entre las centrales tandem Nextengo y Roma, se considero la union de las centrales de la zona Norte y la zona Centro. Donde la matriz de distancias que se utilizo, se formo con la matriz de distancias entre centrales de la zona Norte, zona Centro, y fronter-

---

(1) Terreros Muñoz Victor Manuel y Hernandez Letina Octavio David Actuarios Fac. Ciencias UNAM (en desarrollo).



na N-C. Identicamente se encontro la ruta alterna mas corta entre las centrales tandem Valiejo y Centro Telefonico. (Es decir, se unieron las tablas # 20, # 21, # 23).

- Finalmente para encontrar la ruta alterna mas corta entre las centrales tandem Roma y Popocatepetl se formo la matriz de distancias con la union de las matrices de distancias corenidas para la zona Centro, zona Sur, y frontera C-5. Asimismo se obtuvo la ruta alterna mas corta para las centrales tandem Centro Telefonico y Cuahuacan. (En este caso se unieron las tablas # 21, # 22, # 24).

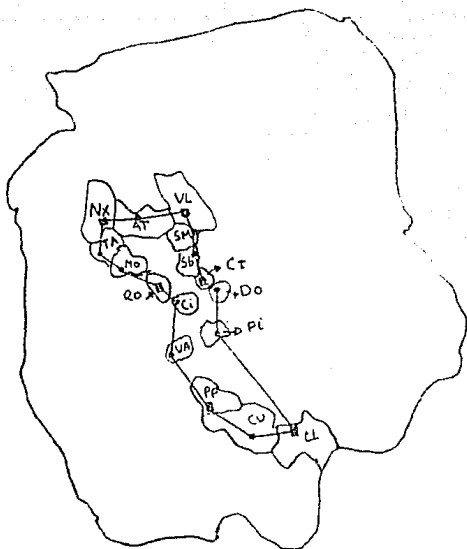
El tiempo requerido para encontrar cada ruta alterna aplicando el paquete fue de 30 segs.

Las rutas alternas mas cortas entre cada par de centrales tandem que se obtuvieron con la aplicacion del paquete son:

Centrales Tandem	Ruta Alterna	Longitud de Ruta (Kms.)
Nx - VI	Nx - At - VI	6.6
Pp - Cl	Pp - Cu - Cl	9.24
Nx - Ro	Nx - Ta - Mo - Ro	14.05
VI - Ct	VI - Sm - Sp - Ct	10.42
Ro - Pp	Ro - Cl - Va - Pp	9.40
Ct - Cl	Ct - Do - Pl - Cl	17.86
Total		67.8

- TABLA # 27 -

Con la obtencion de las rutas alternas mas cortas, presentadas en la tabla # 27, queda finalmente diseñada la Red Auxiliar de rutas intertandem del D.F., que tiene una distancia de 67.8 kms. En la figura # 31 se muestra la Red Auxiliar resultante.



- FIGURA # 31 -

Con objeto de confirmar los resultados obtenidos, se planteó la búsqueda de un circuito utilizando las distancias de rutas alternas entre todo par de centrales tandem.

La matriz de rutas alternas es:

	Nx	VI	Ro	Ct	Pp	Cl
Nx	0	6.8	14.05	13.79	23.75	31.9
VI	6.8	0	11.39	10.42	21.0	30.02
Ro	14.05	11.39	0	2.81	9.43	17.63
Ct	13.79	10.42	2.81	0	11.18	17.86
Pp	23.75	21.0	9.43	11.18	0	9.24
Cl	31.9	30.02	17.63	17.86	9.24	0

Evaluando nuevamente con estas distancias los circuitos obtenidos en con el metodo algebraico se encontro que el circuito de costo minimo es:

$$N_2 - V_1 - C_1 - C_2 - P_2 - P_3 - N_2$$

con una longitud de 67.8 kms.

La obtencion de este circuito confirma que el resultado obtenido es optimo con respecto a la distancia.

La Red Auxiliar diseñada es una red optima en función de las distancias de enlace entre centrales, ya que como se menciona en el planteamiento del problema, el costo de cable de fibra optica es proporcional a las distancias, lo que implica que la red diseñada sea una red auxiliar a costo minimo, considerando unicamente el costo del cable de fibra optica.

Finalmente se propone una alternativa en el diseño de la red auxiliar con objeto de que exista mayor conexión entre las centrales tandem. En la siguiente seccion se presenta dicha alternativa.

### III.5 UNA ALTERNATIVA EN EL DISEÑO DE LA RED AUXILIAR DE RUTAS INTERTANDEM EN LA RED TELEFONICA DEL D.F.

Con objeto de obtener una mayor conexión entre las centrales tandem de la Red Auxiliar, la alternativa que se propone es determinar una ruta alterna entre las centrales tandem Roma (Ro) y Centro Telefonico (Ct). Esto se propone ya que se desea que dado el circuito hamiltoniano optimo, la distancia existente entre las centrales tandem de Roma (Ro) y Centro Telefonico (Ct) es la más pequeña (ver matriz pag. 104).

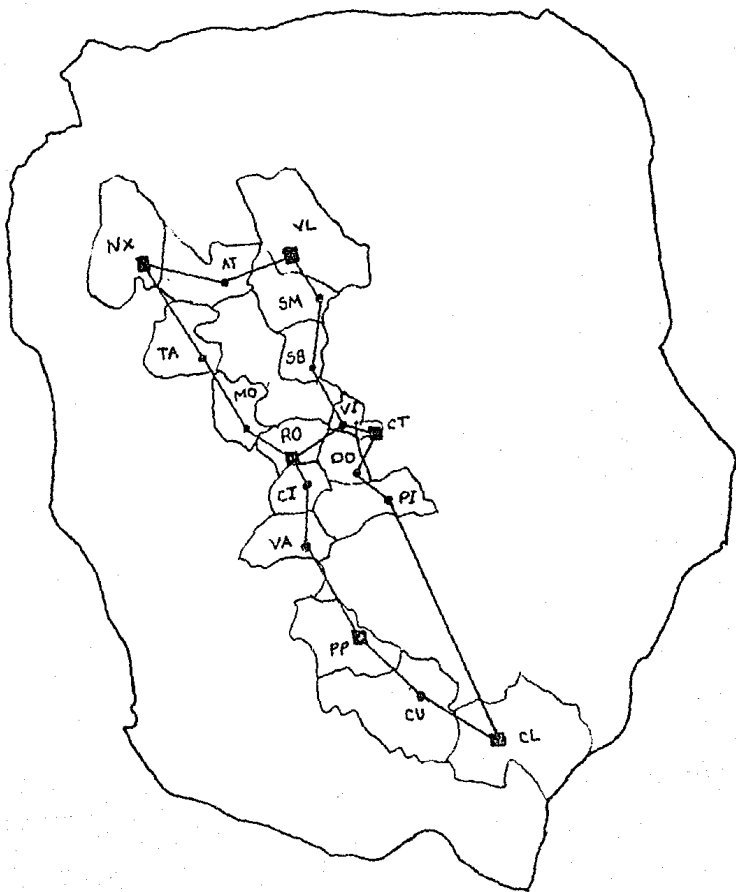
Esta longitud representa un incremento pequeño en la longitud total de la red auxiliar propuesta.

Finalmente se propone al proyecto de la Red Auxiliar de rutas intertandem en la Red Telefonica del D.F. que dicha red quede integrada por el circuito hamiltoniano optimo:

$Nx - Vi - Ct - Ci - Ep - Ro - Nx$

las rutas alternas más cortas entre las centrales tandem, y la ruta alterna entre Ro y Ct (que tiene una distancia de 2.81 ms.)

Esta Red se muestra en la figura # 32.



- FIGURA # 32 -

#### **IV RESULTADOS OBTENIDOS**

En este capítulo se resumen y comentan los resultados que se obtuvieron en el desarrollo del diseño de la Red Auxiliar de rutas interzonales de la Red telefónica del D.F. .

a) Los primeros productos obtenidos fueron los valores estimados de la variable  $g$  para el tercer modelo (1), con el cual se estimó la distancia entre cada par de centrales.

$$d_{ij}(g) = \sqrt{(\ln i - \ln j)^2 + (\ln j - \ln j)^2} \cdot g \quad (1)$$

Los valores estimados para la variable  $g$  por zona se muestran en la tabla # 29.

Zona	$g$ estimada
Norte	1.070292
Centro	1.046793
Sur	1.154780
Frontera N-C	1.025045
Frontera C-S	1.077069

- TABLA # 29 -

Como se mencionó en el capítulo II, en el planteamiento del modelo, con la variable  $g$  se pretende describir la tortuosidad o irregularidad de las calles y/o avenidas de la Ciudad de México.

Los valores contenidos de esta variable, se pueden interpretar de la siguiente forma. Existe una tortuosidad más o menos homogénea en todo el D.F. , sin embargo si detallamos para la zona sur del D.F. existe un poco más de tortuosidad

que en la zona Norte y a su vez en la zona Norte existe un poco mas de tortuosidad que en la zona Centro.

Estos valores de la variable  $q$  son de utilidad en una empresa como Telefonos de Mexico, ya que se pueden tomar como indicadores para la estimacion de distancias entre centrales de nueva creacion en la Red Telefonica del D.F. .

Este modelo puede considerarse como un modelo aceptable ya que por un lado reporta distancias entre centrales que no estan muy alejadas de las distancias minimas reales, y por otro lado al hacer la comparacion con las distancias actuales ( $L_{rr}$ ) de Telefonos de Mexico encontramos que en un 60%  $D(q)$  es menor o igual que  $L_{rr}$ .

- b) El segundo producto obtenido es la matriz de distancias en funcion de  $q$ , la cual se muestra en las tablas # 20, # 21, # 22, # 23, y # 24 del capitulo II. Esta matriz fue obtenida con el tercer modelo ya que fue este el modelo que arrojó los mejores resultados respecto a distancias mas cortas entre centrales. La obtencion de esta matriz es importante ya que esta informacion, representa el insumo necesario para el diseño de la Red Auxiliar. Adicionalmente este producto se considera un elemento necesario en la planeacion de diversos proyectos telefonicos, como son:

- Enrutamiento de Trafico Telefonico
- Seleccion de Medios de Transmision y Dimensionamiento de Equipo Telefonico.
- Mantenimiento de la Red Telefonica



- Supervision de la Red Telefonica

c/ El tercer producto obtenido es la Red Auxiliar de rutas intertandem en la Red Telefonica del D.F.. La cual se muestra en la figura # 32 del capitulo III. El diseño de esta Red tiene como objetivo asegurar la comunicacion entre los equipos de conmutacion de las centrales tandem del D.F. durante alguna eventual contingencia que afecte directamente cualquiera de las rutas de la red de fibra optica entre centrales tandem a nivel de medios de transmision, mediante rutas alternas de respaldo de fibra optica que enlacen a las centrales tandem entre si en forma confiable.

Esta Red Auxiliar se considera exclusiva para afrontar una posible contingencia, es decir, entraria en operacion exclusivamente para evitar la posible falta de comunicacion entre centrales tandem del D.F. .

## CONCLUSIONES

Este estudio proporciona una solución al proyecto de Telefonos de Mexico para la elaboración de una Red Auxiliar de rutas intertandem en la Red Telefónica del D.F. .

El diseño de la Red Auxiliar se baso en encontrar una red a costo mínimo, considerando en este costo una sola variable, la distancia entre centrales telefónicas, debido a que el costo del cable de fibra optica es proporcional a la longitud del cable necesario para unir dos centrales.

El hecho de incluir solamente esta variable en este estudio se debe a que para Telefonos de Mexico es suficiente dicha consideración para iniciar la toma de decisiones en este proyecto.

La Red Auxiliar propuesta satisface la condición de no exceder los 40 kms. de enlace entre cada par de centrales, lo cual constituye un límite admisible para establecer la comunicación entre dos centrales.

Los algoritmos utilizados en el desarrollo de este trabajo pueden ser de utilidad para diversos proyectos de la empresa.

El alcance de este trabajo se plantea como un elemento básico en la planeación de este proyecto en la empresa, y se considera susceptible de cambios debido a las diferentes variables que intervienen en la realización del proyecto.

## Bibliografía

### Libros y Tesis:

- 1.- Cochran W.  
Sample Techniques  
Ed. J. Wiley 1977
- 2.- Christofides Nicos  
Graph Theory  
An Algorithmic Approach  
Ed. Academic Press 1975
- 3.- Desraj  
Sample Theory  
Ed. Mc. Graw Hill 1970
- 4.- M. en C. Flores de la M. Idalia  
Tesis de Maestría  
"Técnicas de Ramificación y Acotamiento"  
UNAM 1990
- 5.- Gibbons Alan  
Algorithmic Graph Theory  
Cambridge Univ. Press 1986.
- 6.- Liebman J., Lasdon L., Scharge L.  
Manual General Interactive Optimizer  
Ed. The Scientific Press 1987
- 7.- Matus Santana F. G.  
Tesis de Licenciatura  
"Establecimiento en México de la primera Red Telefónica  
Urbana con dos Pasos Jerárquicos de Tránsito."  
IPN 1986
- 8.- Minieka E.  
Optimization Algorithms for Networks and Graphs  
Ed. Marcel Dekker 1978
- 9.- Telefonía Elemental  
Centro de Capacitación  
Teléfonos de México 1970
- 10.- Teoría de Tráfico Telefónico  
Gerencia de Capacitación  
Teléfonos de México 1970
- 11.- Introduction to Pulse Code Modulation  
Hewlett Packard 1961

Articles:

- 1.- Bellmore, M. and Malone J.C. (1971) Pathology of traveling Salesman: subtour elimination algorithms. Ops. Res. 19. p.278.
- 2.- Bellmore M. and Nemhauser, G.L. (1968) The traveling Salesman Problem a survey. Ops. Res., 16. p. 538 .
- 3.- Christofides, N. and Elton S. (1967) An Algorithm for the vehicle dispatching problem. Opl. Res. Quart 20. p.309
- 4.- Danielson, G.H. (1965) On finding the simple paths and circuits in a graph. IEEE trans. ct -15 p. 294 .
- 5.- Dhawan, V. (1969) Hamiltonian circuits and related problems in graph theory M. Sc. Report Imperial College. London.
- 6.- Hernandez Ayuso Ms. del C.  
Análisis de Redes  
Vinculos Matemáticos, 161. 1986.  
Departamento de Matemáticas, Fac. de Ciencias.
- 7.- Lin, S., and B. W. Farnighan. (1970). An effective heuristic Algorithm for the traveling salesman problem. ORSA. vol. 21 no. 2. pp. 488 - 516
- 8.- Stockman, H. (1970). A theorem on symmetric traveling salesman problems. ORSA. vol. 18 pp. 1163-1167
- 9.- Yau, S.S. (1967) Generation of all hamiltonian Circuits, Paths and Centres of a graph and related problems. IEEE trans. ct-14 p.79 .

## Anexo I.- Conceptos Telefónicos

Abonado.- persona inscrita para recibir el servicio telefónico.

Ancho de banda.- es el rango de frecuencias que se emplea en una transmisión.

Area Tandem.- limite de influencia de la red local de una central telefonica.

Atenuación.- es la disminucion de la intensidad de una señal debido al efecto de los parámetros propios del medio de transmisión, esta es medida en decibeles.

Cable Troncal.- cable que se emplea para enlazar entre centrales de una misma localidad.

Canal.- Vía de comunicación eléctrica en uno o ambos sentidos.

Banda especifica de frecuencias asignada para la transmisión de diversos tipos de información, tal como voz, señalización, tonos, telegrafía, etc. . .

Central.- Edificio donde se encuentran instalados los equipos telefónicos de enlazar para establecer una comunicación.

Central Tandem.- central automática que maneja tráfico de tránsito originado o terminado en centrales locales subordinadas a ella.

Conductor.- cordón compuesto de varios alambres destinados a transmitir la electricidad.

Densidad Telefónica.- número de líneas telefónicas por cada 100 habitantes.

Diafonía.- es cualquier señal inteligible o no, que interfiere en una comunicación telefónica.

Eco.- señales inteligibles que regresan a su lugar de origen como consecuencia de reflexiones.

Efecto local.- es la autorecepción de un teléfono, por medio de la cual el oído del interlocutor percibe su propia emisión de voz o acoplamiento acústico eléctrico del propio teléfono.

Erlang.- unidad de intensidad de tráfico dicho de otra manera es la ocupación continua de un dispositivo telefónico durante 1 hora, su nombre se debe al matemático Dames A.K. Erlang

$$\text{erlang} = \frac{\text{Llamadas por tiempo promedio de ocupación}}{1 \text{ hora}}$$

Fibra Óptica.- sistema de transmisión que utiliza fibras de poco diámetro para transmitir una señal luminosa modulada por la información a transmitirse.

Microteléfono.- conjunto que reúne en una sola empuñadura tanto la cápsula microfónica como la cápsula receptora. (Auricular).

Punto de Canto.- es el umbral en que un circuito de 4 hilos convertido a 2 hilos en ambos extremos, empieza a auto oscilar.

Red Troncal.- las líneas que enlazan las centrales entre si son agrupadas generalmente en cables que se llaman troncales.

Resistencia eléctrica.- dificultad que opone un conductor al paso de la corriente eléctrica.

Ruido.- son perturbaciones que reducen la inteligibilidad de la información transmitida.

Selector.- dispositivo que consiste de un brazo de contacto móvil, un campo de contactos y un dispositivo motriz que puede mover el brazo de contacto de una posición a otra. Su función

es establecer una comunicación entre una línea específica y cualquiera de las líneas que estén conectadas al campo de contacto.

Via.- ruta que sigue una comunicación a través de órganos de conexión en sistemas telefónicos.



```

*
*
* Anexo II.- Programas y Modelos
*
*
*****
* PROGRAMA 1.- que calcula las distancias *
* entre centrales. Insumo: base de coord- *
* denadas geograficas. Producto Matriz *
* de distancias entre centrales. *
* J S M y L S E. *
* Duracion del programa.- 5 Mins. *
*****
select 1
* Base de datos con coordenadas geograficas
* de cada central
use ub_geo
select 2
* Matriz resultante con distancias entre centrales
use dist_ed
reg=1
select 1
* Bucle principal que calcula las distancias
* y las guarda en base de datos dist_ed
do while reg<81
  goto reg
  lom=long_m
  los=long_s
  lam=lat_m
  las=lat_s
  i=1
do while i<81
  if i<>reg
    goto 1
    dlong=((lom*0.0)+los)-((long_m*0.0)+long_s)
    if dlong<0
      dlong=-1*dlong
    endif
    dlat=((lam*0.0)+las)-((lat_m*0.0)+lat_s)
    if dlat<0
      dlat=-1*dlat
    endif
    select 2
    goto reg
    nomc="c"+ltrim(str(i))
    * los valores 0.02981 y 0.04 son los kms. equivalentes
    * a 1" para longitud y latitud respectivamente.
    replace &nomc with ((dlong*0.02981)+(dlat*0.04))
    select 1
  endif
  i=i+1
loop
enddo
reg=reg+1
loop
enddo
close all
return
*
*
*

```

```

*
*
*
*
*****
* PROGRAMA 1.- que calcula las diferencias *
* entre la longitud de ruta registrada LRR *
* y las distancias calculadas por ub. geo. *
* DUG. *
* Genera una base con las diferencias en- *
* contradas. *
* J S M y L S E . *
* Duracion del programa.- 10 mins. *
*****
select 1
use ruta
select 2
use dist_ed
select 3
use difer
var1=0
select 1
do while .not. eof()
  so=substr(siglaoyd,1,2)
  sd=substr(siglaoyd,4,2)
  var0=1_r
  sele 2
  locate for sig=sd
  if eof()
    aviso='No'
  else
    columna=recno()
    locate for sig=so
    if eof()
      aviso="No"
    else
      nc="c"+ltrim(istr(columna))
      var1=%nc
      select 3
      append blank
      replace si_o with so
      replace si_d with sd
      replace dif with var1-var0
      replace lrr with var0
      replace dug with var1
    endif
  endif
  columna=0
  var1=0
select 1
skip
enddo
close data
return
*
*
*
*
*
*

```

```

*
*
*
*
*****
* PROGRAMA 3.- Genera la matriz depurada *
* con Lnr y Dug. *
* *
* J S M y L S E . *
* Duracion del programa.- 10 mins. *
*****
select 1
use ruta
select 2
use dist_ed
select 3
use dis_dep
var1=0
select 1
do while .not. eof()
  so=substr(siglaoyd,1,2)
  sd=substr(siglaoyd,4,2)
  var0=1_r
  sele 2
  locate for sig=so
  if eof()
    wait space(15)+ SERIE DESTINO +sd
  else
    columna=recno()
    locate for sig=so
    if eof()
      wait space(15)+SERIE ORIGEN'+so
    else
      renglon=recno()
      nc="c"+ltrim(str(columna))
      var1=&nc
      select 3
      goto renglon
      if var1<var0
        replace &nc with var1
      else
        replace &nc with var0
      endif
      nc="c" +ltrim(str(renglon))
      goto columna
      if var1>var0
        replace &nc with var1
      else
        replace &nc with var0
      endif
    endif
  endif
  columna=0
  var1=0
  select 1
skip
enddo
select 2
go top
*
*

```

```
*
*
*
j=1
do while .not. eof()
i=1
do while i<81
nc="c"+i*trim(str(i))
select 3
goto j
if &nc=0
replace &nc with b->&nc
endif
i=i+1
loop
enddo
j=j+1
select 2
skip
enddo
close all
return
```

```

*
*
*
*
*
*****
* PROGRAMA 4.- Obtiene la matriz de dis- *
* tancias en funcion del parametro g. *
*
* J S M y L S E . *
* Duracion del programa.- 5 mins. *
*****
sele 1
use uoqeocs
sele 2
use triacs_g
sele 2
i=1
do while i<596
  goto 1
  sele 1
  locate for sig=b->sor
  longm=long_m
  long_s=long_s
  latm=lat_m
  lats=lat_s
  sigo=b->sor
  locate for sig=b->sde
  sele 2
    diflat=(((latm*b0)+lats)-((a->lat_m*b0)+a->lat_s))*0.04
    diflon=(((longm*b0)+longs)-((a->long_m*b0)+a->long_s))*0.0291818
    replace distancia with (((diflat**2)+(diflon**2))**.5)*1.077069
  i=i+1
  loop
enddo
close all
return
*
*
*
*
*

```

```

*
*
*
*
*****
* PROGRAMA 5.- Metodo Algebraico *
*
* J S M y L S E *
* Duracion del programa.- 1 min. *
*****
SELE 1
USE MB
SELE 2
USE MP4
SELE 3
USE MPS
RENGB =1
COLP =1
  DD WHILE RENGB <7
    IF RENGB <> COLP
      COLB =1
      RENGP =1
      CADENA = ' '
      DO WHILE COLB <7
        SELE 1
          GOTO RENGB
          NB = 'B'+LTRIM(STR(COLB))
          SELE 2
            GOTO COLB
          NP4 = 'P4'+LTRIM(STR(COLP))
          IF A->&NB <> '0'.AND. &NP4 <> '0'
            IF &NP4 = '1'
              CADENA =CADENA+A->&NB+ '
            ELSE
              TNP =LEN(LTRIM(&NP4))
              CADAUX =&NP4
              CONTCAR =1
              POSMAS =0
              DO WHILE CONTCAR <TNP+1
                POSMAS =AT('+',CADAUX)
                IF POSMAS >0
                  CADAUX1 =SUBSTR(CADAUX,1,POSMAS-1)
                  CONTCAR =CONTCAR+POSMAS
                ELSE
                  TNP1 =TNP+1-CONTCAR
                  CADAUX1 =SUBSTR(CADAUX,1,TNP1)
                  CONTCAR =TNP+1
                ENDIF
              IF RENGB=1
                CR='A'
              ENDIF
              IF RENGB=2
                CR='B'
              ENDIF
              IF RENGB=3
                CR='C'
              ENDIF
              IF RENGB=4
                CR='D'
              ENDIF
            ENDIF
          ENDIF
        ENDIF
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF

```

```

*
*
        IF RENGB=5
            CR= E
        ENDIF
        IF RENGB=0
            CR= F
        ENDIF
        REPE =AT(CR,CADAUX1)
        IF REPE =0
            CADENA =CADENA+A->&NB+CADAUX1+ -
        ENDIF
        TNP1 =TNP+1-CUNTCAR
        IF CONTCAR <TNP+1
            CADAUX = SUBSTR(CADAUX, POSMAS+1, TNP1)
        ENDIF
        LOOP
    ENDDO
ENDIF
ENDIF
COLB =COLB+1
LOOP
ENDDO
SELE 3
GOTO RENGB
NPS = 'P5'+LTRIM(STR(COLP))
TCADENA =LEN(CADENA)
ULTIMO =SUBSTR(CADENA,TCADENA,1)
IF ULTIMO = '+'
    REPLACE &NPS WITH SUBSTR(CADENA,1,TCADENA-1)
    TCADENA =TCADENA-1
ELSE
    REPLACE &NPS WITH CADENA
    IF &NPS =
        REPLACE &NPS WITH '0'
    ENDIF
ENDIF
IF SUBSTR(&NPS,1,1) =
    REPLACE &NPS WITH SUBSTR(&NPS,2,TCADENA-1)
ENDIF
COLP =COLP+1
ELSE
    SELE 3
    GOTO RENGB
    NPS = 'P5'+LTRIM(STR(COLP))
    REPLACE &NPS WITH '0'
    COLP =COLP+1
ENDIF
IF COLP >6
    RENGB =RENGB+1
    COLP =1
ENDIF
LOOP
ENDDO
SET DEVICE TO PRINT
R =5
I =1

```

\*  
\*  
\*  
\*  
\*

```
DO WHILE I < 7
  J = 1
  DO WHILE J < 7
    NP = 'P1'+LTRIM(STR(I))+LTRIM(STR(J))
    @ R.2 SAY 'P'+LTRIM(STR(I))+LTRIM(STR(J))+ ' = '+NP
    R = R+3
    J = J+1
  LOOP
  ENDDO
  I = I+1
  LOOP
ENDDO
SET DEVICE TO SCREEN
CLOSE ALL
RETURN
```

\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*



```

*****
* PROGRAM 6.- calcula el costo asociado *
* a cada circuito hamiltoniano. *
* *
* J S M y L S E . *
* Duracion del programa.- 5 mins. *
*****
SELE 1
USE CHAMIL
SELE 2
USE DISCTO INDEX DISCTO1
SELE 1
DO WHILE .NOT. EOF()
D=0
POS=1
DO WHILE POS<7
VAR=SUBSTR(CTO,POS,2)
SELE 2
SEEK VAR
D=D+DISTANCIA
SELE 1
POS=POS+1
LOOP
ENDDO
REPLACE DISTANCIA WITH D
SKIP
ENDDO
CLOSE ALL
RETURN
*
*
*
*

```

\*\*\*\*\*  
 \*MODELO 1.- Zona Norte \*  
 \*\*\*\*\*

MODEL:

- 1) C1 = ( 6.15 - ( 4.8 \* P + 0.466 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 2) C2 = ( 3.45 - ( 2.6 \* P + 1.0115 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 3) C3 = ( 7.98 - ( 5.4 \* P + 2.7455 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 4) C4 = ( 10.66 - ( 1 \* P + 10.115 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 5) C5 = ( 6.32 - ( 2.6 \* P + 0.5025 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 6) C6 = ( 4.9 - ( 2.6 \* P + 0.229 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 7) C7 = ( 4.87 - ( 4.1 \* P + 0.572 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 8) C8 = ( 14.94 - ( 7.2 \* P + 12.1225 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 9) C9 = ( 9.42 - ( 9 \* P + 1.3005 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 10) C10 = ( 13.29 - ( 5.4 \* P + 11.9925 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 11) C11 = ( 19.63 - ( 5.6 \* P + 17.629 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 12) C12 = ( 12.75 - ( 1.2 \* P + 10.465 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 13) C13 = ( 5.65 - ( 2.6 \* P + 2.601 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 14) C14 = ( 6.75 - ( 6.4 \* P + 0.867 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 15) C15 = ( 6.93 - ( 2.2 \* P + 5.78 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 16) C16 = ( 4.65 - ( 1.6 \* P + 4.1905 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 17) C17 = ( 12.64 - ( 2.6 \* P + 10.255 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 18) C18 = ( 3.78 - ( 1 \* P + 2.601 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 19) C19 = ( 7.08 - ( 5.6 \* P + 2.89 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;

- 20) s1=C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10;
- 21) s2=C11+C12+C13+C14+C15+C16+C17+C18+C19;

22) min=s1+s2;

23) P > 0 ;

24) F > 0 ;

END

LEAVE

\*\*\*\*\*  
 \*MODELO 2.- Zona Centro \*  
 \*\*\*\*\*

MODEL:

- 1) C1 = ( 5.85 - ( 4.6 \* P + 0.6105 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 2) C2 = ( 3.01 - ( 0.4 \* P + 7.8475 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 3) C3 = ( 6.54 - ( 2.4 \* P + 5.9245 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 4) C4 = ( 2.52 - ( 1.2 \* P + 2.025 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 5) C5 = ( 2.73 - ( 6.4 \* P + 2.312 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 6) C6 = ( 2.15 - ( 0 \* P + 2.179 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 7) C7 = ( 17.51 - ( 1.76 \* P + 15.025 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 8) C8 = ( 6.93 - ( 6 \* P + 2.025 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 9) C9 = ( 11.01 - ( 4.6 \* P + 1.1605 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 10) C10 = ( 2.65 - ( 1.2 \* P + 2.601 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 11) C11 = ( 12.56 - ( 2.6 \* P + 9.537 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 12) C12 = ( 6.45 - ( 3.6 \* P + 1.155 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 13) C13 = ( 21.3 - ( 2.6 \* P + 20.665 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;
- 14) C14 = ( 16.3 - ( 2.6 \* P + 10.629 \* F ) / (1/F) ) ^ 2 ;

15) MIN=C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10+C11+C12+C13+C14 ;

16) P > 0 ;

17) F > 0 ;

END

LEAVE

```
*
*
*****
*MODELO D.- Zona Sur
*****
```

```
MODEL:
```

```
1) C1 = ( 9.15 - ( 1.4 * F + 5.84 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
2) C2 = ( 17.1 - ( 1.12 * F + 5.954 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
3) C3 = ( 11.25 - ( 1.5 * F + 5.5255 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
4) C4 = ( 16.22 - ( 1.116 * F + 4.824 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
5) C5 = ( 12.27 - ( 1.4 * F + 4.325 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
6) C6 = ( 8.84 - ( 1.3 * F + 2.023 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
7) C7 = ( 8.26 - ( 1.0 * F + 2.800 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
8) C8 = ( 1.45 - ( 1.0 * F + 2.0245 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
9) C9 = ( 3.42 - ( 1.0 * F + 3.0245 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
10) C10 = ( 12.8 - ( 1.7 * F + 10.408 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
11) MIN=C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + C9 + C10 ;
12) F > 0 ;
13) F < 2 ;
```

```
END
```

```
LEAVE
```

```
*
```

```
*
```

```
*****
* MODELO A.- Frontera N-C
*****
```

```
MODEL:
```

```
1) C1 = ( 8.15 - ( 1.3 * F + 1.167172 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
2) C2 = ( 3.9 - ( 1.8 * F + 2.042126 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
3) MIN=C1+C2;
4) MIN$1;
5) F > 0 ;
6) F < 2 ;
```

```
END
```

```
LEAVE
```

```
*****
* MODELO B.- Frontera C-B
*****
```

```
MODEL:
```

```
1) C1 = ( 3.65 - ( 1.3 * F + 1.291316 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
2) C2 = ( 5.16 - ( 1.4 * F + 1.45509 ) / F ) * (1/F) ** 2 ;
3) MIN=C1+C2;
4) MIN$1;
5) F > 0 ;
6) F < 2 ;
```

```
END
```

```
LEAVE
```

\*\*\*\*\*  
\*MODELO 6.- Zona Norte

MODEL:

1) C1 = ( 6.15 - ( ( 4.8 \* 2 + 3.466 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
2) C2 = ( 3.45 - ( ( 2.8 \* 2 + 1.9115 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
3) C3 = ( 7.98 - ( ( 5.4 \* 2 + 2.7455 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
4) C4 = ( 10.86 - ( ( 1 \* 2 + 10.115 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
5) C5 = ( 8.52 - ( ( 2.6 \* 2 + 6.5025 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
6) C6 = ( 9.9 - ( ( 9.6 \* 2 + 0.287 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
7) C7 = ( 4.87 - ( ( 4.2 \* 2 + 0.578 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
8) C8 = ( 14.94 - ( ( 7.8 \* 2 + 12.2625 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
9) C9 = ( 9.42 - ( ( 9 \* 2 + 1.3005 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
10) C10 = ( 13.29 - ( ( 5.4 \* 2 + 11.9925 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
11) C11 = ( 19.65 - ( ( 5.6 \* 2 + 17.625 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
12) C12 = ( 12.75 - ( ( 1.2 \* 2 + 10.405 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
13) C13 = ( 5.66 - ( ( 3.6 \* 2 + 2.601 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
14) C14 = ( 6.75 - ( ( 6.4 \* 2 + 0.667 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
15) C15 = ( 6.93 - ( ( 2.2 \* 2 + 5.78 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
16) C16 = ( 4.65 - ( ( 1.6 \* 2 + 4.1905 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
17) C17 = ( 12.84 - ( ( 7.6 \* 2 + 10.2595 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
18) C18 = ( 3.78 - ( ( 2 \* 2 + 2.601 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
19) C19 = ( 7.08 - ( ( 5.8 \* 2 + 2.89 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
20) s1=C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10;  
21) s2=C11+C12+C13+C14+C15+C16+C17+C18+C19;  
22) min=s1+s2;  
23) G = 1 ;

END

LEAVE

\*\*\*\*\*  
\*MODELO 7.- Zona Centro

MODEL:

1) C1 = ( 5.85 - ( ( 4.0 \* 2 + 3.6125 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
2) C2 = ( 8.91 - ( ( 0.4 \* 2 + 7.9475 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
3) C3 = ( 6.54 - ( ( 2.4 \* 2 + 5.9245 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
4) C4 = ( 2.52 - ( ( 1.2 \* 2 + 2.023 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
5) C5 = ( 2.73 - ( ( 0.4 \* 2 + 2.312 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
6) C6 = ( 3.18 - ( ( 0 \* 2 + 3.179 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
7) C7 = ( 17.51 - ( ( 2.76 \* 2 + 15.028 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
8) C8 = ( 6.97 - ( ( 5.6 \* 2 + 2.023 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
9) C9 = ( 11.01 - ( ( 4.8 \* 2 + 9.1035 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
10) C10 = ( 7.87 - ( ( 7.2 \* 2 + 2.601 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
11) C11 = ( 12.86 - ( ( 7.6 \* 2 + 9.557 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
12) C12 = ( 6.15 - ( ( 5.6 \* 2 + 1.136 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
13) C13 = ( 21.3 - ( ( 3.6 \* 2 + 20.808 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
14) C14 = ( 18.3 - ( ( 2.6 \* 2 + 17.629 \* 2 ) \* ( .5 ) ) \* G ) ^ 2 ;  
15) min=C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10+C11+C12+C13+C14 ;  
16) G = 1 ;

END

LEAVE

\*\*\*\*\*  
\* MODELO 8.- Zona sur \*  
\*\*\*\*\*

MODEL:

1) C1 = ( 9.15 - ( ( 4 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
2) C2 = ( 17.1 - ( ( 12 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
3) C3 = ( 11.25 - ( ( 6 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
4) C4 = ( 18.15 - ( ( 12 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
5) C5 = ( 10.1 - ( ( 4 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
6) C6 = ( 9.94 - ( ( 7.1 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
7) C7 = ( 9.13 - ( ( 4.8 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
8) C8 = ( 11.46 - ( ( 6.6 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
9) C9 = ( 13.95 - ( ( 6 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
10) C10 = ( 12.9 - ( ( 7.6 - 2 ) \* 0.5 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
11) MIN= C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + C9 + C10 ;  
12) G > 1 ;

END

LEAVE

\*\*\*\*\*  
\* MODELO 9.- Frontera N-C \*  
\*\*\*\*\*

MODEL:

1) C1 = ( 9.15 - ( ( 3.6 - 2 ) \* 1.16727 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
2) C2 = ( 11.5 - ( ( 2.5 - 2 ) \* 1.04716 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
3) si=C1;  
4) min=s1;  
5) G > 1 ;

END

LEAVE

\*\*\*\*\*  
\* MODELO 10.- Frontera C-S \*  
\*\*\*\*\*

MODEL:

1) C1 = ( 13.65 - ( ( 3.6 - 2 ) \* 0.191616 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
2) C2 = ( 5.18 - ( ( 4.4 - 2 ) \* 1.45909 ) \* ( 1.5 ) ) \* G / 2 ;  
3) si=C1+C2;  
4) min=s1;  
5) G > 1 ;

END

LEAVE