

Título: OPTIMIZACION EN TELECOMUNICACIONES

**Autor: Dr. Eduardo M. López Soriano
D I R E C T O R**

**Dirección: Centro de Sistemas de Manufactura
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores
de Monterrey
Campus Monterrey
Centro de Sistemas de Manufactura
División de Graduados e Investigación
Sucursal de Correos J
Monterrey, N.L. 64849
M E X I C O**

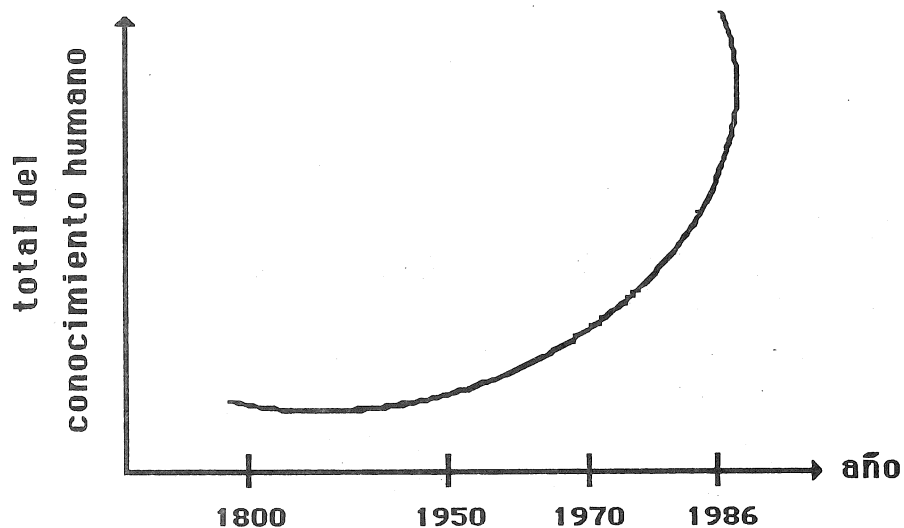
R E S U M E N

Este trabajo presenta dos problemas típicos que forzan a la toma de decisiones adecuada en la práctica de las Telecomunicaciones Industriales. En ambos casos se utilizan herramientas de Optimización Matemática e Investigación de Operaciones para obtener una solución. La primera parte ejemplifica el diseño de una red de Telecomunicaciones bajo un criterio de costo mínimo con lo que se llega a ahorrar hasta un 70% del costo total de diseños más convencionales, sin sacrificar ninguno de los objetivos de la interconexión. La última parte ilustra una forma de enfrentarse a la introducción de ruido en la línea telefónica, que impide la correcta codificación de señales digitales, y se intenta mantener la comunicación de dos computadoras a su máxima velocidad. En cada caso se muestra el problema real que motivó la investigación básica.

I.- INTRODUCCION.

Así como la mezcla de conocimientos de los adelantos textiles y la máquina de vapor durante el siglo XIX revolucionaron el ambiente industrial, la fusión de la ingeniería de telecomunicaciones y la computación nos presenta una gama de nuevos horizontes que explorar lo que motiva a la investigación superior. Algunas tendencias marcadas se comienzan a visualizar; se está gestionando un cambio en los hábitos de trabajo ya que gracias al teleproceso, mucha gente se queda en casa utilizando una microcomputadora conectada vía satélite a una base de datos remota. Aunque el problema de la "transparencia" en los datos no se ha resuelto en su totalidad, este cambio ha incorporado más gente a la élite productiva.

Sin menospreciar el hecho de los logros alcanzados hasta el momento, se cree firmemente que con la tecnología láser alcanzaremos niveles muy superiores a los presentes en términos de capacidad. Esto es muy importante ya que a medida que avanzamos en el tiempo, mayor es la cantidad de información que debemos procesar con respecto a un tema específico. La siguiente gráfica nos ilustra este hecho:



(fuente: Reporte de AT&T en 1965)

En esta proyección vemos que en el año 1800 se tardaba aproximadamente 50 años en duplicarse el conocimiento humano; en 1950

tomaba 10 años, en 1970 eran 5 años, mientras que para 1986 era 1 año. La cantidad de información generada en el gobierno, el comercio, la industria, las universidades, etc., crece en forma exponencial. No es posible económicamente tener supercomputadoras y bases de datos repetidas por todos lados. De ahí el impacto tan fuerte del teleproceso. Vamos en la dirección de la era Simbiótica: "El limitado cerebro humano será complementado con grandes bases de datos y poder de cómputo de máquinas electrónicas distantes". (Ver [3]).

¿Qué conclusiones podemos sacar al respecto?. Tomando en cuenta que la calidad de las decisiones está en proporción directa a lo actualizado que esté la información que involucramos en el proceso, cualquier organización esparcida deberá considerar el teleproceso como una seria alternativa en el mecanismo del sistema de información para apoyo a la dirección gerencial. De otra manera, es posible que la dinámica y las presiones exteriores sitúen a dicha organización en una posición desventajosa y difícil de mejorar.

Este artículo se presenta con la intención de ilustrar dos tipos de problemas que se pueden considerar como clásicos dentro del ámbito de proceso computacional vía Telecomunicaciones. Ambos ejemplos son producto de la investigación y servicio a la industria que presta el Centro de Sistemas de Manufactura de la división de Graduados e Investigación del ITESM Campus Monterrey. Con esto se pretende mostrar una forma de franquear obstáculos que se presentan en el diseño y la operación de redes de Teleproceso Industrial que deben de funcionar constantemente y con alta confiabilidad.

II.- DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES

A continuación presentamos un ejercicio donde se aplica la toma de decisiones en la etapa de diseño. Es importante hacer notar algunas observaciones y asunciones hechas en el desarrollo: la red de telecomunicaciones se diseña bajo un criterio de costo mínimo y la confiabilidad de la red resultante se dá por un hecho; se asume que existen instalaciones telefónicas adecuadas y suficientes para intercomunicar dos ciudades cualquiera; y se presume que el "software" requerido para la red también está disponible. Comentarios adicionales y alternativas de manejo de estos factores se proporcionarán al final de esta sección.

II.1.- Definición del problema

El Sistema del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey es un conjunto de 26 instituciones mexicanas independientes académicamente pero unificadas bajo una misma administración. Cada uno de los campus pretende ofrecer educación universitaria y apoyar la industria regional para el fortalecimiento y el buen desarrollo económico. El hecho de pertenecer a la misma organización le obliga a cada campus a seguir ciertas normas y niveles de excelencia mínimos indispensables para mantener el prestigio internacional que en más de 40 años se ha forjado el I.T.E.S.M.

Administrar una organización tan esparcida es también una función compleja. La figura No. 1 ilustra la distribución geográfica del sistema ITESM en un mapa de la República Mexicana. 18 de los 31 estados federales tienen representación institucional. La Rectoría del Sistema está localizada en la Cd. de Monterrey. Desde ahí, información fluye en una y otra dirección en forma continua por lo que es importante disponer de los medios adecuados para sortearla, clasificarla, y procesarla a fin de que se presente correctamente a las autoridades que toman las decisiones.

Desde hace un tiempo a la fecha se estuvo manejando la idea de estudiar la posibilidad de comunicar todo el Sistema ITESM desarrollando una red computacional que conectara a todos con el Campus Central. Múltiples beneficios académicos y administrativos se visualizan si se contara con una red de esta naturaleza. El solo hecho de estar en línea con una supercomputadora dá un poder de cómputo adicional además de acceso remoto a fichas bibliográficas, bases de datos, correo electrónico, RJE's,

etc. De la misma manera, la recopilación de información administrativa sería también muy inmediata y se evita la duplicidad de funciones.

Desde el año de 1985, México se convirtió en el primer país Latinoamericano que tiene su propio satélite para Telecomunicaciones. Esto abrió una nueva dimensión y alternativas interesantes. Aún así, la tecnología es cara y no necesariamente está al alcance de todos. Por lo tanto, nos avocaremos a diseñar una red en forma más convencional que utilice la línea privada telefónica como medio de interconexión entre dos computadoras.

Tradicionalmente, el uso de una línea telefónica se cobra en función de la distancia. El hecho de seleccionar líneas privadas no las exenta de tal característica en el cobro, ya que se hizo por motivos de disponibilidad. En la actualidad se ha alcanzado cierto grado de sofisticación en el software de telecomunicaciones; hubo una época en que la única comunicación entre dos computadoras era a través de una línea física sin puntos intermedios. Tal configuración ha cambiado ya que ahora se permiten "saltos" o "bypasses" de puntos intermedios. Esto permite más flexibilidad de diseño, al incorporarse alternativas adicionales.

El objetivo global será pues diseñar una red de telecomunicaciones que conecte los campus del Sistema I.T.E.S.M. teniendo como Computadora Central o "Host Computer" a la máquina localizada en el Campus Monterrey. Aprovechando ventajas de software que ignora puntos intermedios, nos limitamos a optimizar sobre el conjunto de redes cuya característica es que existe una ruta única entre dos nodos arbitrarios de la red.

El criterio de optimización será encontrar esa red que tenga una cuota mínima con respecto a las otras posibles redes. Como se vió anteriormente, debido a que una línea telefónica se cobra en proporción directa al número de kilómetros aéreos que utiliza, la configuración que buscamos es una red con la mínima distancia total en las líneas de conexión.

II.2.- Modelo Matemático

En forma abstracta podemos representar las localizaciones o ciudades que se quieren incorporar a la red como nodos en una red de teoría gráfica. Dicha red tendría $n+1$ nodos identificados como $i_0, i_1, i_2, \dots, i_n$ donde i_0 sería el nodo que representa a la computadora central. A fin de configurarla,

colocamos arcos que comienzan de i_0 y terminan en todos los demás nodos; a su vez, definimos arcos cuyo nodo inicial es i_1 y los nodos terminales son i_2, i_3, \dots, i_n ; y así sucesivamente. Con esto generamos una red con $n(n+1)/2$ arcos enlazando a los $n+1$ nodos. (Ver figura 2).

La numeración o asociación de los nodos es irrelevante excepto por lo que se refiere a la Computadora Central. Por conveniencia se escogió i_0 y nos sirve posteriormente como punto de referencia.

Sea j_{rs} el arco cuyo nodo inicial es i_r y el correspondiente nodo terminal es i_s . Entonces $x(j_{rs})$ es un "flujo" asignado a j_{rs} restringido al intervalo $[0,1]$ y d_{rs} es la distancia total de i_r a i_s . Dentro de la teoría de Optimización de Redes, una red con la característica de tener un camino único entre dos nodos arbitrarios se le denomina un "árbol" (ver [4]). Por lo tanto, la representación matemática de la búsqueda de aquél árbol cuya distancia total sea mínima la podemos ilustrar tomando ventaja del flujo que impusimos en la red y expresando el modelo como un problema de Programación Lineal:

$$\begin{array}{ll} \text{Minimizar} & \langle d, x \rangle \\ \text{sujeto a:} & Ex = y \\ & ex = n \\ & |E| x \geq 1 \\ & x \in [0,1] \\ & x : \text{entero} \end{array}$$

donde E es la matriz de incidencias de la red, e es un vector de 1's, y $|E|$ es una matriz que contiene el valor absoluto de los elementos de cada vector de incidencias de todos los posibles cortes de la red que no sean el conjunto vacío.

II.3.- Alternativas de Algoritmos

Tratando de buscar solución a nuestro problema, pudimos encontrar respuesta aplicando el Método Simplex al modelo de Programación Lineal. Sin embargo, una vez dejada la parte experimental y tratar de utilizar

dicha metodología al problema real, uno se enfrenta a la problemática de la inspección de cortes en una red. Si n computadoras se quieren conectar a una computadora central, con la configuración de red abstracta que formamos para imponerle un flujo se generan $2^n - 1$ ecuaciones, debido a los cortes que se deben de considerar, haciendo el problema de Programación Lineal totalmente impráctico para redes medianas o grandes.

Aún así, continuamos la búsqueda y se detectó un algoritmo diseñado por Kruskal que en forma ágil va configurando la red de comunicaciones. El procedimiento en sí es sencillo: dada una red "óptima", se identifica a aquel nodo no conectado cuya distancia sea mínima a la red ya configurada y se incorpora apropiadamente. En exactamente n iteraciones el procedimiento termina sin problemas de inestabilidad numérica o errores de truncación y redondeo. Para mayores detalles en la mecánica, el lector es referido a [4] y [5].

II.4.- Resultados

Una vez implementado el algoritmo en la IBM PC, la etapa de recolección de datos se llevó a buen fin y varias alternativas de diseño se llevaron a cabo. La tabla 1 muestra la asignación de nodos en la red. Es importante remarcar el hecho de que dos Campus fueron eliminados por estar en la misma ciudad donde una supercomputadora iba a estar instalada, haciendo su enlace trivial.

El primer diseño asume que el Campus Central de la ciudad de Monterrey tiene la capacidad de dar servicio a todo el Sistema Nacional. La figura 3 ilustra la forma clásica de conectar en forma directa cada computadora a la máquina central dando una distancia total de 15,529.5 Kms.

La figura 4 muestra el diseño final una vez aplicado el algoritmo. En esta ocasión la distancia total es de 4,714.4 Kms. lo que representa un ahorro de 70% en el pago de la cuota mensual. A largo plazo esto es muy significativo ya que el costo de operar la red se vuelve altamente contributivo y difícil de controlar. Además, cambios en la red ya operando son demasiado complicados lo que hace que una vez diseñada la estructura de comunicación, se mantenga fija. Es por eso que el incorporar consideraciones de operación en la etapa de diseño es imperativo para augurar el éxito de la implementación y operación.

Una vez presentado este diseño, una alternativa posterior surgió al colocarse una IBM 4381 en el Campus Querétaro y otra igual en el Campus

Estado de México. Esos dos Campus fueron conectados directamente y una línea privada se instaló del Campus Querétaro al Campus Central mientras que una línea adicional sale de Monterrey a San Antonio, Texas conectando el Sistema ITESM a la red norteamericana universitaria BITNET. Con esta nueva configuración, se pensó entonces que el diseño se haría en función de recibir servicio de una computadora conectada al BITNET, no necesariamente la del Campus Monterrey. La figura 5 ilustra el diseño que interconecta cada computadora en forma directa a la supercomputadora más cercana. La distancia total es de 10,135.3 Kms. incluyendo la conexión Monterrey-Querétaro-Edo de México.

En la figura 6 se muestra la configuración final diseñada a través del algoritmo y cuya distancia total es de 4,965.9 Kms. lo que totaliza un ahorro de 51% en la cuota mensual.

II.5.- Extensiones y Otras Aplicaciones

Un problema característico de las redes de Telecomunicaciones es la confiabilidad de la configuración. Imagínese el lector que se adopta el primer diseño propuesto por el algoritmo y una vez implementado, se da uno cuenta de que constantemente se cae la línea de comunicación que une el Campus Saltillo con el Campus Central. De inmediato notamos que el resto del Sistema queda sin servicio haciendo inútil todo el esfuerzo. Con ligeras modificaciones, el algoritmo utilizado nos ayuda a identificar la red más confiable, aunque no necesariamente será la más barata. Un balance entre ambos criterios, por ejemplo: encontrar la red más confiable que no exceda un presupuesto, sería tal vez lo más apropiado. De ahí el valor de modelar el Problema como uno de Programación Lineal, ya que puede ayudar a encontrar soluciones en forma estratificada.

Una aplicación adicional del algoritmo se ha encontrado en el diseño de redes de abastecimiento como suministro de agua, de gas natural, electricidad, etc. En ese tipo de actividades también el costo de instalación está en proporción directa con la distancia que se cubre, haciendo atractivo el objetivo de minimizar la distancia total. De hecho, ya en la operación, los costos de inspección y mantenimiento también son función directa de la distancia. Conceptualmente, todos estos sistemas se pueden modelar bajo las mismas consideraciones matemáticas colocándolos en la misma clase de problemas.

III.- DETERMINACION DEL TAMAÑO OPTIMO DEL BLOCK DE TRANSMISION.

En Septiembre de 1985 la ciudad de México sufrió una de las tragedias más amargas de toda su historia. Un terremoto de intensidad 8.2 en la escala de Richter devastó la ciudad matando a miles de personas y destruyendo la zona centro. Uno de los edificios de Teléfonos de México, donde residían un buen porcentaje de las instalaciones dirigidas a telecomunicaciones, quedó reducido a ruinas dejando prácticamente incomunicada la capital de México con el resto del mundo. Casi de inmediato, la Secretaría de la Defensa Nacional asumió el control de todas las líneas privadas de transmisión de datos, cuyas instalaciones de apoyo no sufrieron avería, ya que el estado de emergencia así lo exigía.

Todas las Compañías y organismos que fueron afectados por la pérdida de su línea privada, se avocaron a transmitir en forma conmutada y se enfrentaron a una problemática relativamente diferente por las características más vulnerables de este tipo de telecomunicaciones.

III. 1.- Identificación del problema.

La mayoría de las líneas de telecomunicaciones no fueron diseñados para transmitir datos computacionales, conocidos como señales digitales. Fueron hechas para enviar y recibir señales de voz, denominadas señales analógicas. Por lo tanto, equipo especial es requerido para convertir unas señales a otras dependiendo de quien envía y quien recibe los datos. Una configuración ilustrativa se muestra en la figura 7.

Las líneas conmutadas (o públicas), a diferencia de las líneas privadas, están sujetas a mayor cantidad de "ruido" o distorsión que afecta el tiempo total de transmisión. Ruido es una incertidumbre que puede ser originada por causas externas (estática atmosférica, cables tocando la rama de un árbol, etc.) o por causas internas (malas conexiones, registros subterráneos inundados, etc.) y genera errores al decodificar la señal recibida. Cuando un error es detectado, la estación receptora envía un mensaje negativo a la estación transmisora, lo que fuerza a que ésta envíe los datos otra vez. A mayor longitud de mensaje, mayor probabilidad de error; por eso, un mensaje largo puede que necesite de varios intentos hasta ser recibido correctamente.

Una forma de mejorar la eficiencia en la transmisión es dividiendo el mensaje en blocks de datos de tal manera que si un error se detecta, solamente un block se repite y no todo el texto. Sin embargo, el fraccionar un texto en blocks no debe de ser hecho en forma arbitraria ya que cada block es verificado y la estación receptora debe de contestar si hubo discrepancia o no; por lo tanto, subdividir un texto en muchos blocks retardaría el tiempo total de transmisión considerablemente. Es de esperarse que de alguna manera exista un balance, o sea, que dada una longitud de texto y después de estimar la cantidad de ruido en la línea conmutada podamos determinar en cuántos blocks se debe fraccionar el mensaje a fin de que el tiempo total de transmisión sea mínimo. Basados en la experiencia de apoyar a una empresa manufacturera cuya dependencia en telecomunicaciones para facturación, control de pedidos e inventarios, y decisiones sobre crédito y cobranza en un depósito localizado en la Cd. de México era crucial, presentamos el análisis desarrollado y la metodología propuesta para solucionar este problema. Aunque las líneas privadas no están exentas de ruido, la intensidad del mismo es mucho más remarcable en líneas conmutadas lo que orilla a buscar alternativas como la que se propone.

III. 2.- La Mecánica de transmisión.

La interferencia y ruido en las líneas de comunicaciones pueden cambiar bits de datos de tal manera que no serían reconocidos por la estación receptora. Además, la estación receptora puede también aceptar ruido como bits de datos. Si un bit en un caracter cambia, ese caracter y posiblemente los caracteres subsiguientes no serán válidos. Por lo tanto, los datos son generalmente validados contra cambios, pérdidas, o adiciones de bits.

Existen tres formas comunes de validar datos:

- a) VRC (Vertical Redundancy Checking) que inspecciona cada caracter del block y determina la paridad.
- b) LRC (Longitudinal Redundancy Checking) el cual utiliza todos los bits de cada caracter en el block para formar un caracter de validación.

c) CRC (Cyclic Redundancy Checking) que apoyándose en una formulación matemática, genera un par de caracteres de validación. Este es actualmente el procedimiento más acertado de los tres.

Todos los métodos son efectuados en forma automática por el programa de telecomunicaciones. Para mayor certeza en los datos, los tres métodos son generalmente adoptados ya que se complementan unos a otros.

III. 3.- Representación Matemática.

Supongamos que q es la probabilidad de que un byte transmitido tenga error en el transcurso del proceso. Asumiendo que el error de transmisión sucede en forma independiente de byte a byte y considerando m bytes por block, tenemos que la probabilidad de error en la transmisión de un block completo está dada por:

$$p(n) = 1 - (1 - q)^{L/n}$$

donde

L = longitud del texto que se quiere transmitir
(en número de bytes).

n = número de blocks en que se fracciona el texto.

$$m = \frac{L}{n}$$

Nuestra incógnita o variable de decisión será n , la cual es un número comprendido entre 1 y L , que deberá ser entera. La figura 8 nos ilustra el comportamiento de $p(n)$ en donde se puede observar que a mayor número de blocks en que subdividimos el texto, menor será la probabilidad de que se incurra en error al transmitir un block; por otro lado, a medida que crece la longitud de texto aumenta la probabilidad de error en un block si n se mantiene constante.

Con esta probabilidad $p(n)$ podemos calcular entonces el número de veces promedio que un block de información se deberá de transmitir hasta que sea recibido en forma exitosa:

$$\frac{1}{1 - p(n)} = 1 + \frac{p(n)}{1 - p(n)} = 1 + h(n)$$

Dado un texto de longitud L , se debe determinar el tiempo total de transmisión en función del número de blocks n , para luego identificar el valor de n que minimiza la función tiempo total. Al enviar un block de m bytes existe un tiempo de verificación c al inicio y al término del mismo, además de un tiempo z de cambio de transmisor a receptor y viceversa cuando se detecta error en la telecomunicación. El modem, trabajando a una velocidad de transmisión $v = \text{bps}/8$, tarda $T=1/v$ en enviar un byte de computadora a computadora. En paralelo se van efectuando los procedimientos de verificación de los cuales tanto VRC como LRC tardan en forma directamente proporcional al número m [$o(m)$]. Por otro lado, CRC es una formulación matemática más compleja que al investigar el número de operaciones que desarrolla, se relaciona directamente proporcional al cuadrado del número de bytes que componen el block [$o(m^2)$]. Al conjuntar todos estos componentes del tiempo de transmisión por block y multiplicar por n (el número de blocks en que fraccionamos L) obtenemos la siguiente expresión del tiempo total de transmisión:

$$\begin{aligned} \text{tiempo total} \\ \text{de transmisión} &= n \left(1 + h(n) \right) \left\{ \frac{LT}{n} + c + K_1 \frac{L}{n} + K_2 \frac{L}{n} + K_3 \left(\frac{L}{n} \right)^2 \right\} \\ &+ 2n \cdot h(n) \cdot z \end{aligned}$$

lo que es lo mismo que:

$$\begin{aligned} \text{tiempo total} \\ \text{de transmisión} &= f_1(n) + f_2(n) + \text{constante} \end{aligned}$$

donde $f_1(n)$ es una función lineal que incrementa monotónicamente, $f_2(n)$ es una función no lineal convexa, y se suma una constante adicional de tiempos no dependientes del número de blocks. La figura 10 nos muestra el comportamiento de las funciones y del tiempo total de telecomunicación.

Una vez desarrollada la expresión matemática, existen varias alternativas para encontrar n^* (el número de blocks que minimiza el tiempo total). Sin embargo, es muy probable que ese valor obtenido no sea entero. Se aconseja calcular el tiempo total de transmisión para n_i y n_s , donde n_i y n_s son números enteros tales que

$$n_i \leq n^* \leq n_s$$

$$n_i + 1 = n_s$$

$$n_i, n_s : \text{enteros}$$

y entonces tomar una decisión.

III. 4.- Comentarios, Extensiones, y Otras Aplicaciones.

Procedimientos que involucran la identificación de todos los elementos que contribuyen a un sistema son muy importantes dentro del ámbito industrial. En particular, sistemas de costeo e ingeniería económica manufacturera tienen un valor estratégico en las empresas que pueden significar ese diferencial competitivo que se está buscando. Curiosamente este ejercicio tiene una similitud en la mecánica con otros relacionados hacia consumos industriales y costos de producción que inclina a pensar en la unificación de criterios y formulaciones en ambientes bajo incertidumbre.

La estimación del valor de la probabilidad de error en un byte (q) puede calcularse de diferentes maneras. Sin embargo, no es una estimación única la que se debe hacer sobre todo si el texto es largo ya que debido a la dinámica de las telecomunicaciones es muy factible que la magnitud de q varíe durante el proceso. Esto también conduce a la elaboración de un software de control capaz de alterar la forma de bloquear dinámicamente como procedimiento retroalimentador.

IV.- CONCLUSIONES.

Ambos ejemplos ilustrados en este artículo presentan una metodología en común: se detecta el sistema físico en el estado en que se encuentra conceptualizándose en forma abstracta a través de un modelo matemático, para después llevar al sistema a un nivel "óptimo" de operación utilizando un procedimiento que manipula el modelo. A esto se le conoce dentro del área de Investigación de Operaciones como un programa y nos ayuda a determinar las magnitudes de los parámetros que intervienen para funcionar cómodamente bajo un criterio establecido.

La parte más difícil del proyecto es posterior a estas etapas. Llevar a la práctica los resultados obtenidos no es necesariamente inmediato y generalmente salen a relucir todos aquellos factores no considerados en el modelo matemático o en el algoritmo de optimización. La mayoría de los casos exige una negociación entre resultados teóricos y resistencia al cambio. Sin embargo, cualquier modificación en la dirección óptima es superior a las condiciones actuales de operación. Los dos ejercicios sirven también de aliciente para la adopción de herramientas que motiven el mejoramiento continuo dentro del ámbito computacional.

V.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Dantzig, George B.
Linear Programming and Extensions
Princeton University Press
Princeton, New Jersey
1963

- 2.- Martin, James T.
Telecommunications and the Computer
Prentice-Hall, Inc.
Englewood Cliffs, N.J.
1969

- 3.- Martin, James T.
Future Developments in Telecommunications
Prentice-Hall, Inc.
Englewood Cliffs, N.J.
1977

- 4.- Rockafellar, R. Tyrrel
Network Flows and Monotropic Optimization
Wiley, 1984

- 5.- Whitehouse, Gary E.
Systems Analysis and Design Using Network Techniques
Prentice-Hall, Inc.
Englewood Cliffs, N.J.
1973

RELACION DE LOS CAMPUS DEL SISTEMA TECNOLOGICO DE MONTERREY

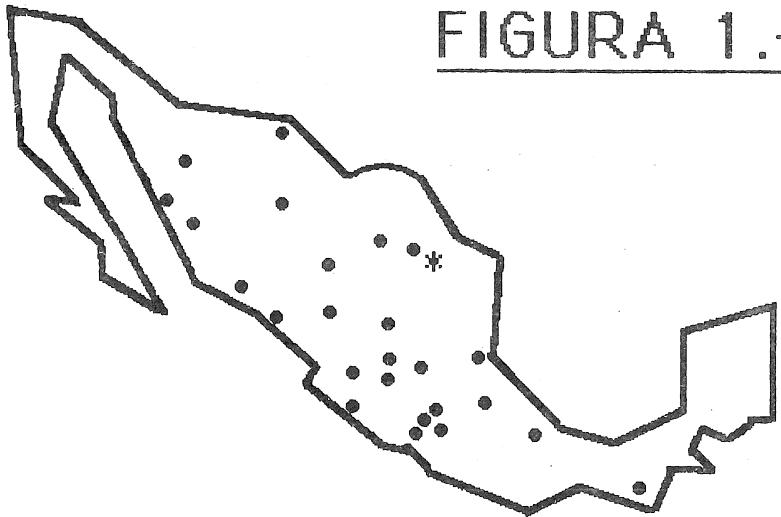
CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO

<u>Nodo</u>	<u>Campus</u>
0.-	Monterrey
1.-	Querétaro
2.-	Edo. de México
3.-	Guaymas
4.-	Chihuahua
5.-	Cd. Obregón
6.-	Laguna (Torreón)
7.-	Sonora Norte (Hermosillo)
8.-	Saltillo
9.-	Mazatlán
10.-	Cd. Juárez
11.-	Sinaloa (Culiacán)
12.-	San Luis Potosí
13.-	León
14.-	Colima
15.-	Irapuato
16.-	Tampico
17.-	Toluca
18.-	Zacatecas
19.-	Guadalajara
20.-	Morelos (Cuernavaca)
21.-	Hidalgo (Pachuca)
22.-	Central de Veracruz (Córdoba)
23.-	Chiapas (Tuxtla Gutiérrez)

NOTA: No se tomaron en cuenta los Campus Eugenio Garza Sada (Monterrey) y Cd. de México por considerarse obvia su vía de comunicación y enlace.

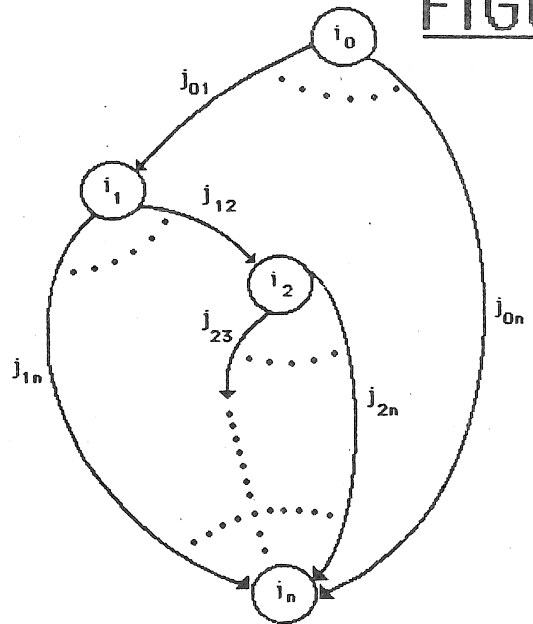
TABLA 1

FIGURA 1.-



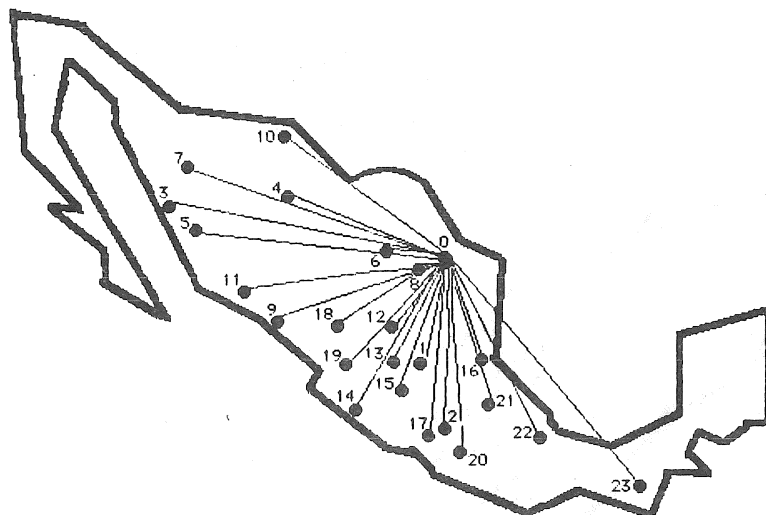
LOCALIZACION DE
LOS CAMPUS

FIGURA 2.-



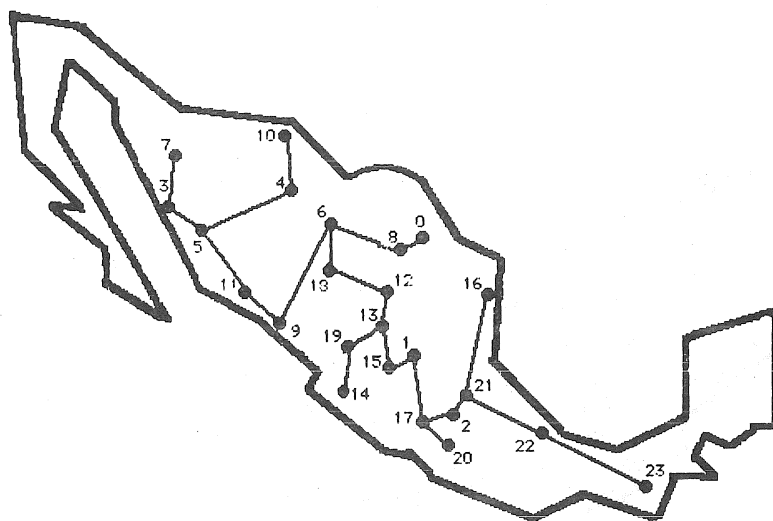
CONFIGURACION DE LA RED

FIGURA 3.-



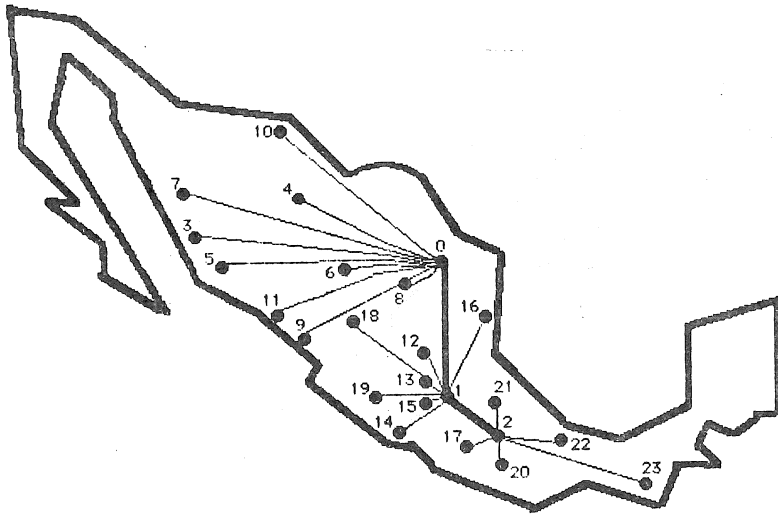
DISEÑO TRADICIONAL CON SERVICIO CENTRALIZADO

FIGURA 4.-



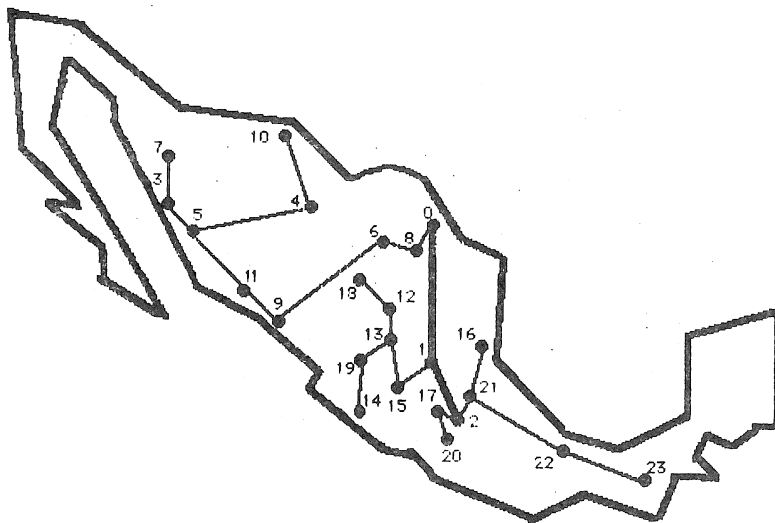
RED "OPTIMA" CON SERVICIO CENTRALIZADO

FIGURA 5.-



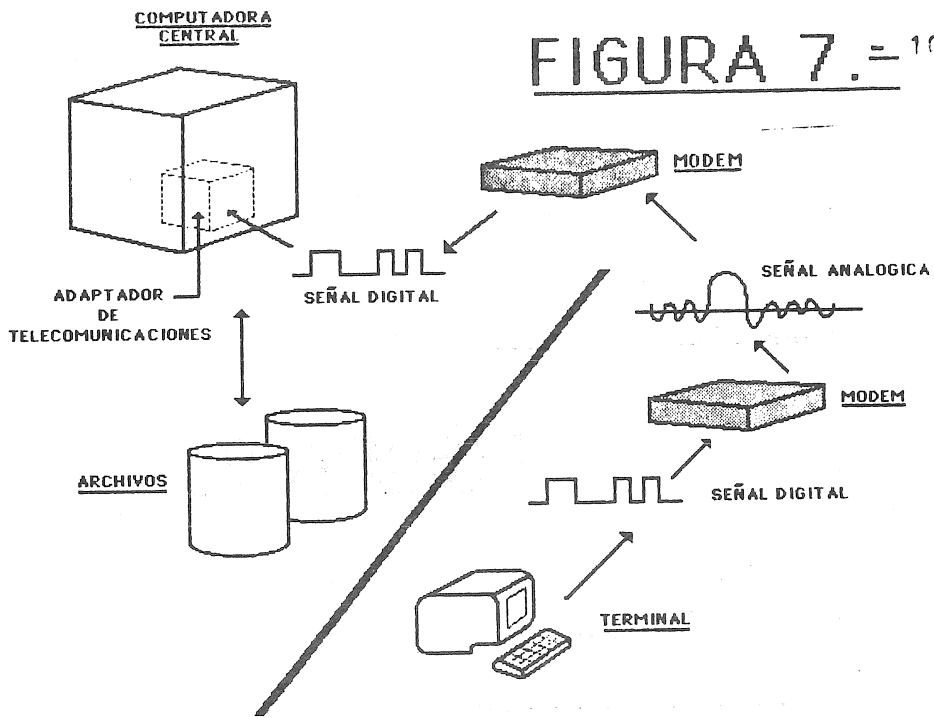
CONFIGURACION TRADICIONAL CON SERVICIO DISTRIBUIDO

FIGURA 6.-



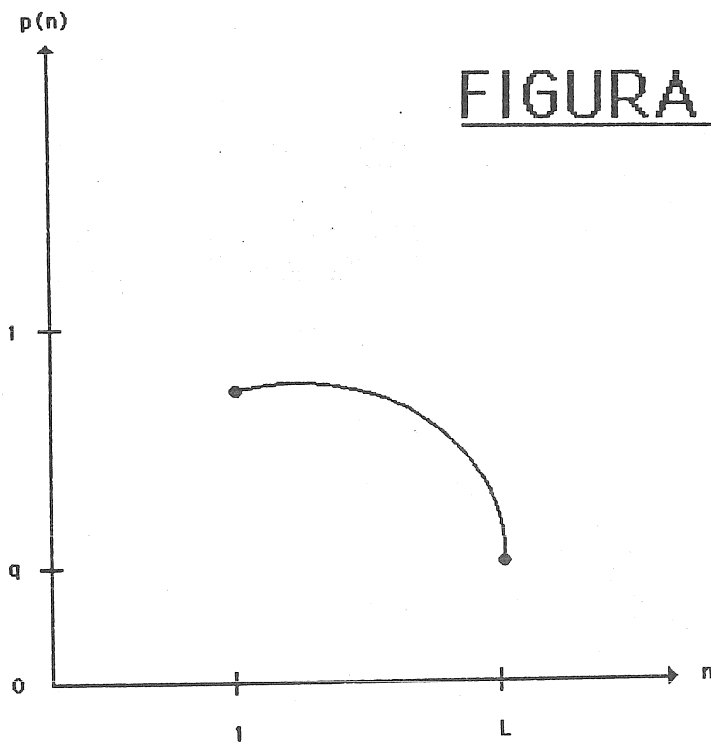
DISEÑO "OPTIMO" CON SERVICIO DISTRIBUIDO.

FIGURA 7.- 1022 -



EJEMPLO DE CONFIGURACION EN TELECOMUNICACIONES

FIGURA 8.-



COMPORTAMIENTO DE LA PROBABILIDAD DE QUE EXISTA ERROR EN LA TRANSMISION DE UN BLOCK.

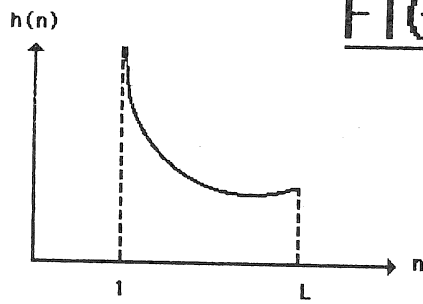
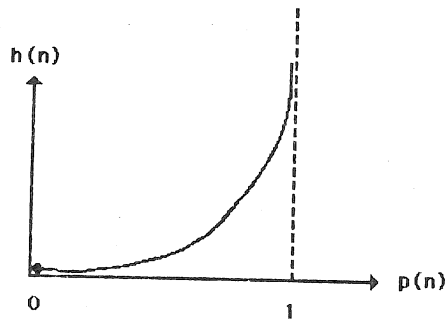


FIGURA 9.-

COMPORTAMIENTO DEL NUMERO DE VECES QUE SE REPITE
LA TRANSMISION DE UN BLOCK.

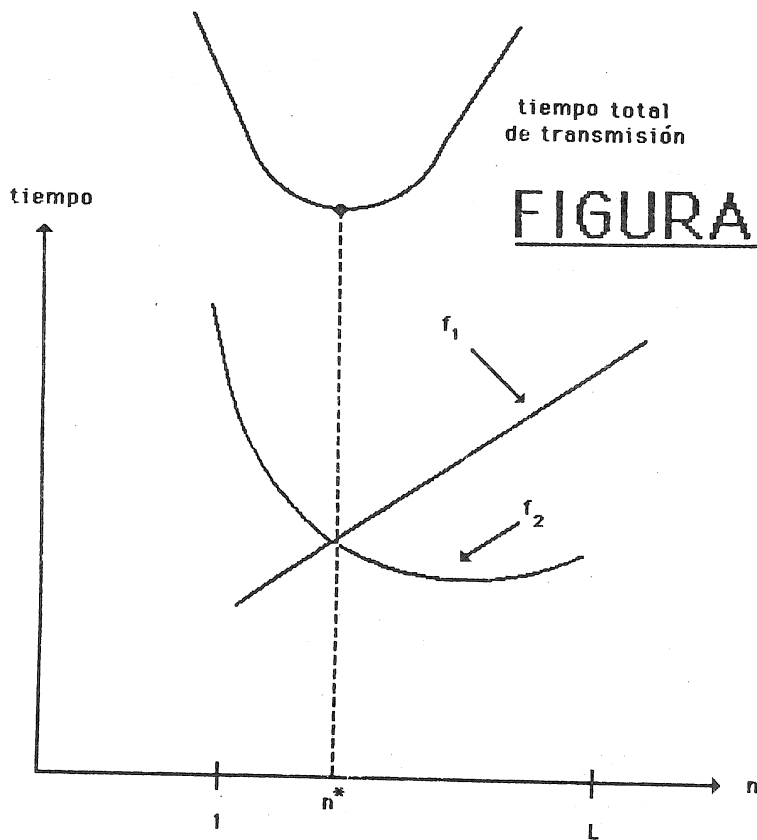


FIGURA 10.-

LOCALIZACION DEL VALOR OPTIMO DE n