

# Rediseño de la Red de Distribución de Suministros a Nivel Nacional de una Empresa de Telecomunicaciones

*Por. Julio A. Groscons*

*Ingeniero Industrial*

En el presente trabajo se estudia la configuración de la red de distribución de una empresa de telecomunicaciones, analizando los problemas que ésta presenta y las nuevas necesidades existentes, para poder proceder a mejorar su funcionamiento a través de un modelo de rediseño.

Inicialmente se estudia la situación actual de la empresa, para comprender las funciones básicas. Se estudió la configuración actual de la red, y las causas y razones que llevaron a diseñarla de esta manera.

## **1. SITUACIÓN ACTUAL**

### **LA RED LOGÍSTICA ACTUAL**

La distribución de materiales en la empresa se realiza a través de 5 áreas logísticas, conformadas por grupos de almacenes locales dependientes de cada Almacén nodal, encargados de abastecer zonas geográficas específicas.

### **TRANSPORTE**

La mayor parte del transporte de materiales y suministros a nivel nacional se efectúa a través de transportistas externos. Basados en los altos volúmenes y altas frecuencias de transporte, la empresa ha logrado obtener tarifas preferenciales, estandarizadas para todas las empresas transportistas. Estas tarifas se basan en dos factores: la distancia y la capacidad de carga del camión.

### **NUEVAS NECESIDADES DE LA EMPRESA**

Posteriormente se estudiaron las nuevas necesidades de la compañía, donde se incluyeron los cambios en las demandas, el crecimiento de las zonas y la aparición de nuevos proyectos como los grandes usuarios; todo esto con el fin de determinar la necesidad de rediseñar la red actual, y establecer los parámetros principales para el rediseño.

Para poder lograr sus objetivos en cuanto a crecimiento y satisfacción de la demanda es necesario combinar dos factores que son expansión y mantenimiento. La expansión implica la colocación de nuevas líneas, la mejora e innovación de los servicios existentes, mientras que el mantenimiento debe garantizar el correcto funcionamiento de la planta instalada.

### **PROYECTO GRANDES USUARIOS**

Los Grandes Usuarios representan alrededor del 80% de los ingresos de la compañía, por lo cual se les debe dar un trato preferencial. La estrategia de la empresa está orientada a que los Grandes Usuarios aumenten su participación en los ingresos de la compañía, posibilidad factible si hay una respuesta efectiva ante este tipo de clientes, cuyas exigencias son cada vez mayores en nuevos servicios y tecnologías. Para poder cumplir con este compromiso la empresa se vio en la necesidad de crear nuevos almacenes en los lugares en los que se encuentran concentrados estos clientes.

## 2. ESCOGENCIA DEL MODELO A UTILIZAR:

### LA ASIGNACIÓN DE ALMACENES DENTRO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La asignación de los recursos de almacenamiento constituye una de las decisiones clave en nuestro problema, dado que es la que define de forma sustancial la estructura costo-servicio del sistema logístico global. Se deben tomar en cuenta variables como el número, localización geográfica y tamaño de los almacenes.

Los modelos existentes de distribución física pueden clasificarse como analíticos o de simulación. Los modelos analíticos tratan de optimizar objetivos particulares como el servicio o el costo; en contraste, los modelos de simulación representan de manera matemática el sistema, pero no garantizan el alcance de la solución óptima.

#### PROGRAMACIÓN LINEAL:

La principal ventaja de la programación lineal radica en su flexibilidad para describir un gran número de situaciones reales.

La programación lineal es una herramienta determinística, es decir, todos los parámetros del modelo se suponen conocidos con certeza. Sin embargo, en la vida real, es raro encontrar un problema donde prevalezca una verdadera certeza en cuanto a los datos. La técnica de programación lineal compensa esta "deficiencia", proporcionando análisis sistemáticos postóptimos y paramétricos, que permiten al tomador de decisiones probar la sensibilidad de la solución óptima "estática", respecto a cambios discretos o continuos de los parámetros del modelo. Básicamente, estas técnicas adicionales agregan una dimensión dinámica a la propiedad de solución óptima de la programación lineal.

Tomando en cuenta la necesidad de la empresa de desarrollar un modelo dinámico para realizar el rediseño y las posteriores actualizaciones necesarias a la red de suministros, se procedió a desarrollar un modelo matemático computacional, que integrara las características deseadas por la empresa como son dinamismo, ambiente amigable, adaptación a la realidad y alto grado de interacción con el usuario.

Debía, de alguna manera, relacionarse al programa de programación lineal con algún lenguaje de programación que permitiera en el futuro cambiar el valor de los

parámetros de una manera sencilla y "amigable". Así, se escogió utilizar el paquete Microsoft Excel, combinando la herramienta "Solver" de programación lineal con el lenguaje "Visual Basic" de programación en macros para desarrollar la estructura del modelo.

## 3. MODELO MATEMÁTICO PARA EL REDISEÑO DE LA RED

### DESARROLLO DEL MODELO

Una vez concebido el modelo y el tipo de estructura analítica a utilizar, se procedió a obtener la información y a darle el tratamiento necesario para traducir todas las variables reales en cifras y ecuaciones matemáticas que puedan ser utilizadas por el modelo.

La estructura lógica del modelo se creó utilizando lenguaje de macros ("Visual Basic"), para presentar los cuadros de diálogo que guiarán al usuario por las diferentes hojas de cálculo, hojas de modificaciones y hojas de reportes del modelo.

### DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo para el rediseño de la red de distribución es un programa interactivo que utiliza la herramienta de la programación lineal para definir la asignación óptima de almacenes a zonas operativas, en términos de costo total mínimo.

Este permite que el usuario modifique y actualice los datos de la red de distribución que pueden afectar al mismo, utiliza esos datos, y mediante relaciones previamente incorporadas calcula la configuración de la red de distribución que generará el costo mínimo, y emite reportes y gráficos con los resultados.

### DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO

Las variables requeridas en la definición del modelo son las siguientes:

#### *Distancias:*

Se creó inicialmente una matriz de distancias entre los posibles almacenes nodales y todas las capitales de estados como zonas de demanda. En la segunda etapa se tabularon en la matriz, las distancias entre los almacenes locales y los distritos correspondientes.

*Costos de transporte:*

Flota contratada: Para poder trabajar con nuestro modelo se hizo necesario aproximar los valores de los costos por distancia a una función matemática. Para esto se utilizó la regresión lineal.

Flota propia de la empresa: Para calcular los costos por vehículo por kilómetro, se utilizaron los datos brindados por la dirección de transporte.

*Costos de almacenamiento:*

Estos costos se clasificaron en fijos y variables:

**Costos Fijos**

Estos costos son independientes de la cantidad de material almacenado y dentro de este grupo colocamos los siguientes:

- \* Costo del espacio destinado para el almacenamiento de los productos.
- \* Costo del personal indirecto.
- \* Costos de la depreciación de los equipos.
- \* Costo de mantenimiento de las instalaciones.

*Costos Variables:*

Estos guardan una relación directa con la cantidad de materiales almacenados y son los siguientes:

- \* Costo del personal asignado a las labores de almacenamiento.
- Costo de las primas de seguro por el valor de las existencias y de la edificación.
- \* Costo de overhead.

## Capacidad de almacenamiento de los almacenes:

Para poder calcular un volumen de almacenamiento equivalente se consideró que lo mejor sería calcular la cantidad de paletas que caben en los dos tipos de estantes, y se utilizaron los siguientes conceptos:

## Índice de rotación mensual

Es el cociente entre las salidas de inventario y el inventario total promedio durante el período en estudio.

## Capacidad de almacenamiento mensual

La variable que interesa al modelo es la capacidad de almacenamiento mensual de cada almacén. Esta viene definida por el producto de la capacidad de almacenamiento total por el índice de rotación mensual de los materiales. Este índice de rotación considera el hecho que muchas veces, una parte del espacio de almacenamiento está ocupado con materiales de poco uso, pero que por razones logísticas deben permanecer allí.

*Demandas de materiales:*

Se decidió buscar una relación entre el número de líneas y el consumo de materiales, basándose en los datos históricos. Con estos se logró ajustar una relación directa mediante regresión lineal. Fue necesario calcular el coeficiente de correlación  $r^2$  para poder verificar que la relación entre las variables era significativa.

*Equivalencia entre paletas y bolívares*

Una vez establecidos los consumos en bolívares de las diferentes regiones, fue necesario convertirlos en cantidades de materiales, para poder introducirlos en el modelo.

Para poder establecer el precio promedio por paleta se desarrolló un muestreo aleatorio entre el total de materiales en los almacenes. Se calculó el producto de unidades/paleta por el precio/unidad, que nos da el valor de la variable precio/paleta para cada producto. Esta es la variable a muestrear, se calculó la media muestral, que se utilizó como estimador de la media poblacional.

Como resultado de nuestro muestreo, se obtuvo una aproximación de la equivalencia entre demanda en bolívares y demanda en paletas, para los diferentes centros de responsabilidad.

Una vez establecidas las ecuaciones que relacionan el número de líneas en servicio con el consumo mensual en bolívares, y el valor en bolívares de las paletas; se unieron para obtener la ecuación que relaciona el número de líneas en una región y su consumo mensual de paletas de materiales a los almacenes.

### Nivel de Servicio:

Se estableció el Nivel de Servicio, según lo utilizado por la empresa, como el cociente entre materiales solicitados y materiales despachados en el período en estudio.

### RESTRICCIONES DEL MODELO:

Para poder convertir el modelo en un problema de programación lineal, se generaron las siguientes restricciones:

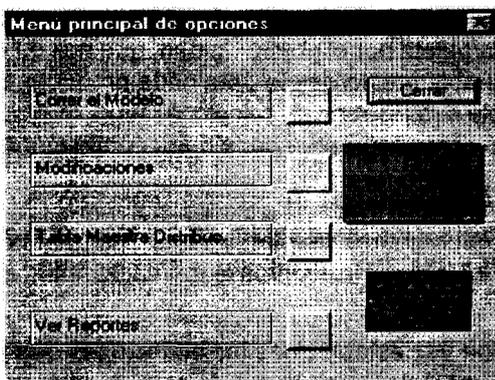
- Asignaciones mayores a cero: esto evita que el programa otorgue asignaciones negativas al buscar la solución.

Asignaciones menores a las capacidades de almacenamiento: se generaron algoritmos para simular las capacidades de almacenamiento techado y almacenamiento en patio que no debían ser sobrepasadas en la solución del sistema.

Satisfacción de las demandas: la respuesta del sistema debía cumplir con la asignación de las demandas según el nivel de servicio especificado.

### PARTES QUE COMPONEN EL MODELO

#### Menú principal:



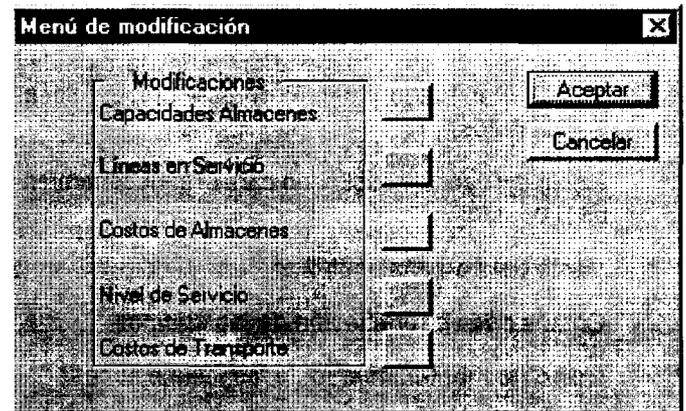
#### Correr el modelo:

Al presionar este botón, el programa introduce todos los valores de las variables en la herramienta Solver de Microsoft Excel.

Utilizando los valores actuales de las variables involucradas, el programa procede al cálculo de la configuración de la red que genera el costo total mínimo. Una vez que se han completado los cálculos, se presentará el cuadro de diálogo que indica si se ha logrado una solución satisfactoria, y se dará la opción al usuario de generar los reportes de respuestas y de sensibilidad.

#### Modificaciones:

Al seleccionar esta opción, el programa presentará el menú de modificaciones, donde se presentan todas las variables que pueden ser revisadas y actualizadas por el usuario.

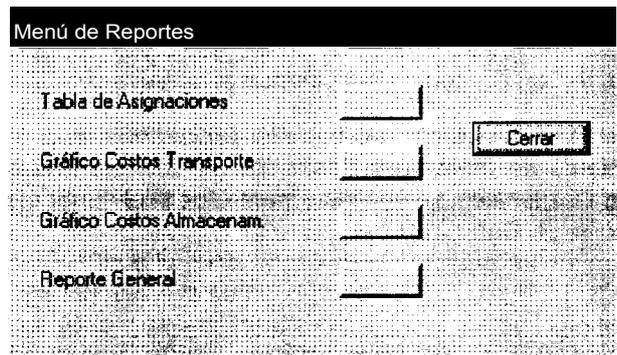


#### Tabla Maestra de Distribución:

La selección de esta opción, llevará al usuario a la Tabla Maestra de Distribución, donde se muestra la cantidad en paletas que debe suministrar cada almacén a cada una de las zonas de demanda en estudio. Los valores de la tabla maestra de distribución son generados automáticamente por el modelo, cuando se ejecuta la opción "Correr el modelo", sin embargo, también pueden ser modificados por el usuario.

#### Ver Reportes:

Esta opción ejecuta el menú de reportes del modelo, el cual permite observar los diferentes resultados y parámetros de la red de distribución. Este menú permite generar los siguientes reportes:



#### 4. ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ,UTILIZANDO EL MODELO PARA EL REDISEÑO DE LA RED

La red actual se estableció básicamente tomando en cuenta la demanda de las regiones, colocando los almacenes nodales en las zonas de mayor demanda. Se procedió a revisar este criterio, utilizando la capacidad de líneas actuales en las diferentes regiones del país. Las capitales de los estados con mayores demandas se seleccionaron para ser introducidas en el modelo, como posibles almacenes nodales.

Como primera alternativa para el modelo consideramos siete posibilidades para almacenes nodales, en las siguientes ciudades: Caracas, Valencia, Maracaibo, San Cristóbal, Barquisimeto, Puerto la Cruz y Puerto Ordaz.

Para correr el modelo, se colocaron los diferentes almacenes locales como puntos de demanda, y se les asignó una demanda según el número de líneas en ser-

vicio existentes en las zonas operacionales adscritas a ellos.

Además de esto, se colocaron los almacenes propuestos de grandes usuarios como puntos de demanda, y su demanda se calculó en función del inventario mínimo establecido para los mismos.

Al obtener los resultados del modelo se procedió a su análisis para quitar un almacén de la lista de almacenes nodales. Para hacer esto se utilizó como criterio básico el considerar aquellos con menor demanda atendida. De esta manera se establecieron escenarios óptimos para redes de siete, seis, cinco, cuatro y tres almacenes nodales.

#### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Al eliminar un almacén nodal, se eliminan los costos fijos correspondientes, y los costos variables asociados a este son absorbidos por los demás almacenes. En contraposición a esto, los costos de transporte se elevan debido a que las distancias promedio entre almacenes y las zonas del país se ven incrementadas. Esto además modifica el posible nivel de servicio que la red está en capacidad de ofrecer a sus clientes, como se observa en la tabla N°1.

Al disminuir el número de almacenes nodales, el ahorro en costos de almacenamiento es superior al incremento en costos de transporte (los números reales no se presentan en este documento); sin embargo, el nivel de eficiencia en el servicio, que es inversamente proporcional a la distancia promedio entre los almacenes y las zonas de demanda, se ve afectado negativamente.

Tabla N° 1

Resumen de Resultados de las redes

Alternativa	Nº de nodales	Costos transp.	Costos almac.	Dist. promedio	Nivel efic. promedio
A	7	100%	100%	65 Km	96%
B	6	118%	97%	86 Km	90%
C	5	123%	94%	104 Km	88%
D	4	132%	85%	119 Km	82%
E	3	154%	61%	161 Km	72%

Fuente: Modelo para el rediseño de la red

Teniendo en consideración todos estos parámetros, se descartaron los escenarios A y B (de siete y seis almacenes), debido principalmente a los elevados costos; y el escenario de tres almacenes, debido a la marcada disminución en el nivel de eficiencia en el servicio. Así, se perfilaron como alternativas posibles los escenarios C y D, los cuales se analizaron más profundamente.

Como una segunda etapa se procedió a utilizar el modelo colocando a los almacenes locales como centros de distribución y a las regiones operativas como puntos de demanda. Para esto se definieron tres zonas: Capital, Central y Oriental. Estas zonas se establecieron a partir de los volúmenes de demanda y de la cercanía entre las distintas regiones.

## 5. CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis de los resultados obtenidos con el modelo para el rediseño de la red, se perfilaron las alternativas C y D como las más viables, al considerar todos los parámetros involucrados, principalmente los costos de almacenamiento, los costos de transporte y los niveles de eficiencia en el suministro de materiales.

La alternativa C es una red con cinco almacenes nodales. Es la alternativa de más fácil implantación, y sólo presenta algunas diferencias, con respecto a la red actual, en las asignaciones, además de cambios en almacenes locales.

La alternativa D, representada por la red de cuatro almacenes nodales, es la que se escogió como mejor opción, puesto que presenta ventajas sobre la alternativa C, que se pueden resumir de la siguiente manera:

Costos totales inferiores: el utilizar menos cantidad de almacenes nodales en la red logística se traduce directamente en la reducción de los costos totales de al-

macenamiento, los costos totales resultaron significativamente menores, aún considerando los costos estimados de establecer un almacén local en la ciudad de San Cristóbal para sustituir al nodal.

Los costos de transporte relacionados con el movimiento de materiales desde los almacenes nodales hasta los locales, se ven incrementados al eliminar el almacén de San Cristóbal, puesto que su demanda es asumida por el almacén de Maracaibo, el cual aumenta su distancia promedio recorrida en un elevado porcentaje; el nivel de eficiencia en el suministro para el almacén nodal Maracaibo se ve reducido, sin embargo se mantiene dentro de los niveles esperados.

Las capacidades de los almacenes nodales actuales con respecto a la demanda, justifican ampliamente la opción de eliminar el almacén nodal San Cristóbal, pues aún con la alternativa D la capacidad mensual de los almacenes es aproximadamente el doble de la demanda estimada mensual.

De manera común para las dos alternativas planteadas, se establecieron las tablas de asignaciones para cada zona logística, y se plantearon propuestas para la fase de almacenes locales, que se basaron principalmente en la eliminación de algunos almacenes locales, así como la ampliación de otros, de manera de distribuir de manera óptima la demanda de materiales según las respuestas otorgadas por el modelo.

La ventaja principal que se obtuvo al trabajar con este modelo es su capacidad para aceptar retroalimentación por parte del usuario, lo que le permite una constante actualización. Esto es de suma importancia para la empresa, porque como se analizó en la investigación, los planes de expansión han cambiado de manera importante en los últimos años, y lo único que puede considerarse con seguridad es que el futuro es incierto, es por eso esencial poseer una herramienta dinámica que pueda adaptarse a los cambios inesperados que se presenten en los próximos años.