

CONCEPTOS BÁSICOS

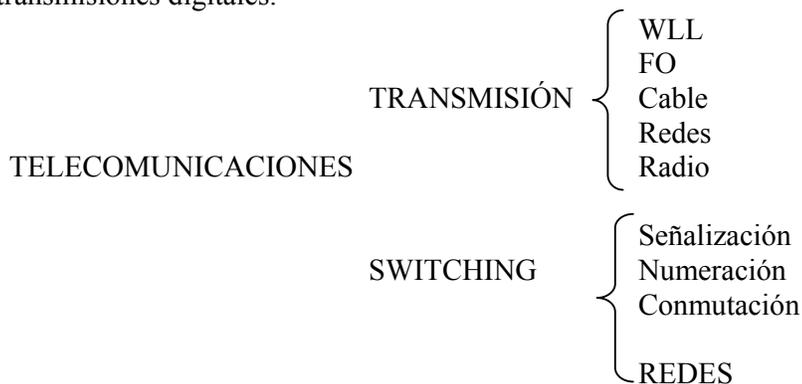
PLANTEL EXTERIOR TELEFÓNICO

Conceptos

El teléfono fue inventado por Alexander Graham Bell el 10/3/1876, cuando se comunicó con Watson, su ayudante, a 10m de distancia.

Ese cable fue el primer plantel exterior.

El esquema de las telecomunicaciones sufre modificaciones constantes por el advenimiento de las transmisiones digitales.



Las Telecomunicaciones son las encargadas de llevar adelante el servicio de proveer comunicaciones eléctricas a distancia. El servicio es soportado por una industria que depende de una cantidad enorme de ingenieros y científicos con especialización creciente.

El servicio telefónico puede ser **público o privado**. El ejemplo más específico de un servicio abierto a la correspondencia pública es el teléfono incorporado a una compañía telefónica, cuando está basado en la empresa privada (después de 1991), o la administración de la telefonía, cuando el gobierno es el propietario (hasta 1991). Consideremos que por los años 80 había más de 600 millones de teléfonos en la red internacional, con intercomunicación entre cada teléfono en esa red. Actualmente hay más de 1000 millones. Una preocupación primaria de este curso es describir el desarrollo de una red de teléfono y porqué se construye de esa manera. También nos preponemos mostrar cómo se amplía y como lleva servicios adicionales a la comunicación de voz y cómo los servicios especiales se desarrollan según lo basado originalmente en la red de teléfono existente. La mayor parte de la industria de las telecomunicaciones se dedica a la red telefónica. La ingeniería de telecomunicaciones se ha analizado tradicionalmente en dos segmentos básicos, *transmisión y conmutación*. Esta división es la más evidente en telefonía. La transmisión se refiere a llevar de una señal eléctrica de la punta X a la punta Y. Nosotros decimos que la conmutación *conecta* X a Y, más bien que a Z. Hasta hace varios años la transmisión y conmutación eran dos disciplinas muy separadas y distintas. Esa distinción está desapareciendo hoy. Mientras que procedemos, nos ocupamos de ambas disciplinas.

LA CONEXIÓN TELEFÓNICA

El teléfono común, como lo sabemos hoy, es un dispositivo conectado con el mundo exterior por un par de alambres (en adelante *par telefónico*). Consiste en un microteléfono y su hor-

quilla con un dispositivo de señalización, consistiendo en un dial rotativo o los botones de discado. El microteléfono se compone de dos transductores electroacústicos: del auricular o receptor y de la boquilla o micrófono. Hay también un circuito de tono lateral que permite que algo de la energía de audio transmitida sea realimentada al receptor. El transmisor o boquilla convierte energía acústica en energía eléctrica por medio de un transmisor de gránulo del carbón (hoy ya se usan micrófonos electrostáticos). El transmisor requiere un potencial continuo (c.c.), generalmente en el orden de 3 a 5 V, a través de sus electrodos. Llamamos a esto la *batería* de la voz, y en sistemas de teléfono modernos se provee sobre la línea (batería central) del centro de la conmutación. La corriente de la batería atraviesa los gránulos o los granos del carbón cuando el teléfono se levanta de su horquilla o suelta " el gancho." Cuando el sonido afecta al diafragma del micrófono, las variaciones de la presión de aire se transfieren al carbón, y a la resistencia del camino eléctrico a través de los cambios del carbón en proporción con la presión y resulta una corriente pulsante.

El receptor (auricular) típico consiste en un diafragma de material magnético, aleación a menudo suave de hierro, colocada en un campo magnético constante provisto por un imán permanente, y un campo magnético que varía causado por las corrientes de la voz que atraviesan la bobina. Tales corrientes de la voz son alternas (ca) en naturaleza y se originan en el transmisor (micrófono) del otro teléfono. Estas corrientes hacen que el campo magnético del receptor al aumente y disminuya, haciendo que el diafragma se mueva y que responda a las variaciones. Así se instala una onda acústica de presión, reproduciendo más o menos exactamente la onda acústica original del transmisor del teléfono distante. El receptor del teléfono, como convertidor de la energía eléctrica a la energía acústica, tiene un rendimiento comparativamente bajo, en el orden de 2 a el 3%.

El tono lateral (*sidetone*) es el sonido de la voz del transmisor oído en el mismo receptor (tubo). El nivel del *sidetone* debe ser controlado. Cuando el nivel es alto, la reacción humana natural hará que el abonado transmisor baje su voz. Así regulando el *sidetone*, los niveles del transmisor pueden ser regulados. Si se realimenta demasiado tono al receptor, el nivel salida transmisor se reducirá como resultado del transmisor al bajar su voz, de tal modo se reducirá el nivel (volumen) en el receptor distante y deteriorar su funcionamiento. Desarrollemos nuestra discusión, conectando dos microteléfonos del teléfono por un par telefónico, y en el medio entre los microteléfonos, tenemos una batería conectada para proporcionar el voltaje necesario para hablar. Tal conexión se muestra en la figura 1,1. La distancia D es la separación total de los dos microteléfonos y es la suma de las distancias d_1 y d_2 ; d_1 y d_2 son las distancias de cada microteléfono a la batería central de la fuente. El ejercicio se basa en ampliar la distancia D para determinar la limitación de los factores dados un voltaje fijo de la batería, por ejemplo, la c.c. de 48 V. Encontramos que hay dos factores limitadores a la extensión del par telefónico entre los microteléfonos. Éstas son la *pérdida $I \times R$* , limitando el voltaje a través del transmisor del microteléfono, y la *atenuación de la voz*. Para el alambre N°19 (0,91 mm), la distancia limitadora es cerca de 30 kilómetros, dependiendo de la eficacia de los microteléfonos. Si la característica limitadora es la atenuación y

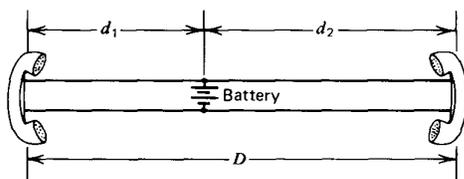


Figura 1.1 Una conexión telefónica simple.

deseamos ampliar el par más lejos, podrían ser utilizados amplificadores en la línea. Si el voltaje de la batería es la limitación, posteriormente podría ser aumentado el voltaje de la batería. Con el sistema de teléfono representado en la figura 1. 1, solamente dos personas pueden comunicarse. Tan pronto como agreguemos una tercera persona C, algunas dificultades comienzan a presentarse. El acercamiento más simple sería proveer a cada persona de dos micrófonos. Así la parte A tendría un conjunto para hablar con B, otro para la charla con C, y así sucesivamente. O bien los conjuntos se podrían enganchar para arriba en paralelo. Ahora suponga que A desea hablar con C y que no desea incomodar a B. El entonces debe tener cierto método selectivo de alertar la parte con el cual él desea hablar. Mientras más estaciones se agregan al sistema, el problema de alertar llega a ser absolutamente complejo. Por supuesto, el nombre propio para esta selección y la alerta es **señalización**. Si denominamos al par telefónico por el cual circula la corriente de voz un **“lazo”** o **“loop”**, de ahora en adelante lidiaremos con **“loops”** o **“lazos de abonado”**. También llamemos a la persona que usa una estación del teléfono **“un suscriptor o abonado”**. Los bucles (lazos) que los conectan son lazos de abonado. Ahora miremos un sistema de ocho-suscriptores, donde cada suscriptor es conectado directamente con cada uno de los otros suscriptores. Esto se muestra en la figura 1,2. Cuando conectamos cada estación con cada otra en el sistema, se llama una **conexión de acoplamiento**, o acoplamiento punto a punto. Sin el uso de amplificadores y con la medida de cobre del alambre 10-gauge (aprox. 5mm² y 2,6mm diám.), la distancia limitadora es 30 kilómetros. Así cualquier segmento que conecta el octágono no puede ser mayor de 30 kilómetros. La única manera que podemos justificar económicamente una conexión del acoplamiento de suscriptores en **punto a punto** (mesh), es cuando cada suscriptor desea comunicarse

METRIC-TO-AWG CONVERSION TABLE	
Metric Size mm²	AWG Size
0.5	20
0.8	18
1.0	16
2.0	14
3.0	12
5.0	10
8.0	8
13.0	6
19.0	4
32.0	2
52.0	0

.W.G.	Wire Number	A.W.G. or B&S	A.W.G. Metric
(Inches)	(Gauge)	(Inches)	(MM)
0.500	000000 (7/0)
0.464	000000 (6/0)	0.580000
0.432	00000 (5/0)	0.516500
0.400	0000 (4/0)	0.460000	11,684
0.372	000 (3/0)	0.409642	10,404
0.348	00 (2/0)	0.364796	9,266
0.324	0 (1/0)	0.324861	8,252
0.300	1	0.289297	7,348
0.276	2	0.257627	6,543
0.252	3	0.229423	5,827
0.232	4	0.2043	5,189
0.2120	5	0.1819	4,621
0.1920	6	0.1620	4,115
0.1760	7	0.1443	3,665
0.1600	8	0.1285	3,264
0.1440	9	0.1144	2,906
0.1280	10	0.1019	2,588
0.1160	11	0.0907	2,304
0.1040	12	0.0808	2,052
S.W.G.	Wire Number	A.W.G. or B&S	A.W.G. Metric
0.0920	13	0.0720	1,829
0.0800	14	0.0641	1,628
0.0720	15	0.0571	1,450
0.0640	16	0.0508	1,291
0.0560	17	0.0453	1,150
0.0480	18	0.0403	1,024
0.0400	19	0.0359	0,9119
0.0360	20	0.0320	0,8128
0.0320	21	0.0285	0,7239
0.0280	22	0.0253	0,6426
0.0240	23	0.0226	0,5740
0.0220	24	0.0201	0,5106
0.0200	25	0.0179	0,4547
0.0180	26	0.0159	0,4038
0.0164	27	0.0142	0,3606
0.0148	28	0.0126	0,3200

0.0136	29	0.0113	0,2870
0.0124	30	0.0100	0,2540
0.0116	31	0.0089	0,2261
0.0108	32	0.0080	0,2032
0.0100	33	0.0071	0,1803
S.W.G.	Wire Number	A.W.G. or B&S	A.W.G. Metric
0.0092	34	0.0063	0,1601
0.0084	35	0.0056	0,1422
0.0076	36	0.0050	0,1270
0.0068	37	0.0045	0,1143
0.0060	38	0.0040	0,1016
0.0052	39	0.0035	0,0889
0.0048	40	0.0031	0,0787
0.0044	41	0.0028	0,0711
0.0040	42	0.0025	0,0635
0.0036	43	0.0022	0,0559
0.0032	44	0.0020	0,0508
0.0028	45	0.0018	0,0457
0.0024	46	0.0016	0,0406
0.0020	47	0.0014	0,0350
0.0016	48	0.0012	0,0305
0.0012	49	0.0011	0,0279
0.0010	50	0.0010	0,0254
	51	0.00088	0,0224
	52	0.00078	0,0198
	53	0.00070	0,0178
	54	0.00062	0,0158
	55	0.00055	0,0140
	56	0.00049	0,0124

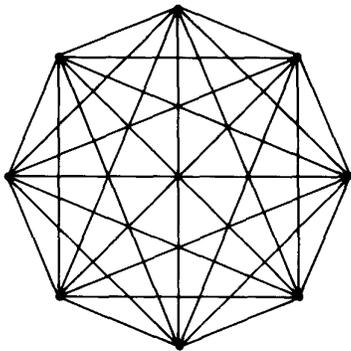


Figura 1.2 Una conexión mesh de ocho suscriptores.

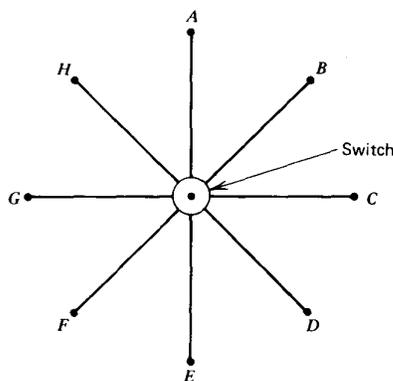


Figura 1.3 Conexión de suscriptores en estrella.

con cada otro suscriptor en la red virtualmente todo el día en conexión permanente (período completo). Como sabemos, sin embargo, la mayoría de los suscriptores del teléfono no utilizan sus teléfonos sobre una base de tiempo completo. El teléfono se utiliza en lo que parece ser intervalos al azar a través del día. Además, el suscriptor o el utilizador ordinario del teléfono hablará normalmente solamente con un suscriptor al mismo tiempo. Él no necesitará hablar con el resto de los suscriptores simultáneamente (conferencia). Si se agregan más suscriptores y la red se extiende más allá de 30 kilómetros, es obvio que el costo de transmisión se elevará en espiral. Así parecería más sabio compartir los recursos de una cierta manera más coherente y reducir los costos de transmisión. Ahora discutimos esto cuando un conmutador (switch) se incorpora la figura. Definamos un conmutador como dispositivo que conecte entradas con salidas. La entrada puede ser una línea del suscriptor que llama y la salida, la línea de un suscriptor llamado. Las técnicas de la conmutación como concepto se discuten extensamente más adelante en la carrera. Considere la figura 1,3, que muestra a nuestros suscriptores conectados en una red de estrella con un conmutador en el centro. Lo que el conmutador realmente hace es, en este caso, es reducir el gasto del costo de transmisión. Realmente, este conmutador reduce el número de conexiones para un mismo número de suscriptores, lo que realmente es una forma de concentración. Más adelante en nuestro curso, llega a ser evidente que la conmutación se usa para concentrar el tráfico, así reduciendo el costo de recursos de transmisión.

FUENTES Y GENERALIDADES

Tráfico es un término que cuantifica el uso. Un suscriptor utiliza el teléfono cuando él desea hablar con alguien. Una red consta de los medios de conectar a suscriptores. Hemos visto dos configuraciones de red simples, las conexiones de punto a punto (mesh) y de estrella (star), en las figuras 1,2 y 1,3. Una llamada se inicia en una fuente del tráfico y se recibe en un receptor del tráfico. Los nodos o puntos nodales en una red son los conmutadores.

REDES TELEFÓNICAS - TERMINOLOGÍA

Definimos una red telefónica como “*un desarrollo sistemático de medios de transmisión de interconexión arreglados de modo tal que cualquier suscriptor(abonado) pueda hablar con cualquier otro dentro de tal red*”.

La disposición de desarrollo de la red es sobre todo una función de la economía. Por ejemplo, los suscriptores comparten recursos de transmisión comunes; los conmutadores permiten que se comparta por medio de la concentración. Considérese un ejemplo muy simplificado. Dos ciudades son separadas por ejemplo, 20 Km., y cada ciudad tiene 100 suscriptores del teléfono.

no. Lógicamente, la mayoría de la actividad del teléfono (el tráfico) estará internamente entre los suscriptores de la primera ciudad y entre las de la segunda ciudad. Habrá un cierto tráfico, pero considerablemente menor, a partir de una ciudad a la otra. En este ejemplo cada ciudad tiene su propio conmutador. Con el volumen de tráfico bastante bajo a partir de una ciudad a la otra, quizás sean requeridas solamente seis líneas de unión para interconectar el conmutador de la primera ciudad al de la segunda. Si no más de seis personas desean hablar simultáneamente entre las dos ciudades, un número de hasta sólo 6 líneas pueden ser seleccionadas. La economía ha asignado que por mandato instalemos el número mínimo de líneas telefónicas que conectan de la primera ciudad a la segunda para responder a las necesidades de llamadas entre las dos ciudades. Las líneas telefónicas que conectan un conmutador del teléfono con otro se llaman los troncales en América y uniones en Europa.

Las líneas telefónicas que conectan un suscriptor con el conmutador se llaman *líneas de abonado*. La concentración es una relación de transformación de *línea-a-troncal*. En el caso simple de ejemplo, había cien líneas de abonado a seis troncales, o alrededor de 16: 1 en la denominada *relación de transformación*.

Un conmutador local (PABX o PAX) sirve a un suscriptor de teléfono. Esto significa que su línea telefónica está conectada con la red vía la PABX. Un conmutador o central local tiene un área de la porción, que es el área geográfica en la cual el conmutador o central está situado; ese conmutador o central sirven a todos los suscriptores en esa área.

El término área local, en comparación con área de tarificación, es esa área geográfica que contiene un número local, un conmutador o central y se cumple que cualquier suscriptor puede llamar a cualquier otro suscriptor sin incurrir en pago de tarifa (recargo extra para una llamada). El pago de un peaje y las llamadas interurbanas son sinónimos. Por ejemplo, una llamada local en Argentina, en donde los teléfonos tienen factura detallada, muestra que las llamadas locales tienen un precio estipulado. Las llamadas interurbanas (larga distancia) aparecen como cargos separados, detallados en la cuenta del teléfono. Esto no está tan difundido en la mayoría de los países europeos y en los países que siguen práctica europea. En estos países no hay factura detallada de llamadas (suscriptor-troncal). En práctica europea una llamada interurbana, es una llamada que implica marcar dígitos adicionales (Por ej.: más de seis o siete dígitos). Llamamos *una red* al grupo de los conmutadores o centrales telefónicas que interactúan mutuamente.

BASES DE INGENIERÍA DE TRÁFICO

Introducción y terminología

Como hemos mencionado ya, los conmutadores o centrales telefónicas son conectados por los troncales. El número de los troncales que conectan el conmutador o central X con el conmutador o central Y es el número de los pares telefónicos o su equivalente usado en la conexión. Uno de los pasos de progresión más importantes de la práctica de la ingeniería de telecomunicación es determinar el número de los troncales requeridos en una ruta o una conexión entre los conmutadores o centrales. Podríamos decir que estamos dimensionando la ruta. Para dimensionar correctamente una ruta, debemos tener cierta idea de su uso, es decir, cuánta gente deseará hablar inmediatamente sobre la ruta. El uso de una ruta de transmisión o de un conmutador nos trae al reino de la ingeniería del tráfico, y el uso se puede definir por dos parámetros: (1) velocidad de llamadas, o el número de veces que una ruta o un camino del tráfico se utiliza por período unitario; definida más correctamente como "*la intensidad de la llamada por la ruta del tráfico durante la hora más ocupada*" y (2) el tiempo de llama-

das, o " la duración de la ocupación de una ruta del tráfico por una llamada, " o a veces, " la duración media de la ocupación de unos o más rutas por llamadas." * Una ruta del tráfico es " un canal, una ranura de tiempo, una banda de frecuencia, una línea, una troncal, un conmutador, o un excedente del circuito que las comunicaciones individuales pasan en secuencia." El tráfico **llevado** es el volumen de tráfico llevado realmente por un conmutador, y el tráfico **ofrecido** es el volumen de tráfico ofrecido a un conmutador. Para dimensionar un camino de tráfico o para clasificar un conmutador o central telefónica, debemos saber la intensidad del tráfico de la estación ocupada en una hora de alta ocupación. Hay variaciones semanales y diarias en tráfico dentro de la estación ocupada. El tráfico es muy al azar en naturaleza. Sin embargo, hay cierto estado coherente que podemos buscar. Por un lado, hay más tráfico generalmente el lunes y viernes y un volumen más bajo el miércoles.

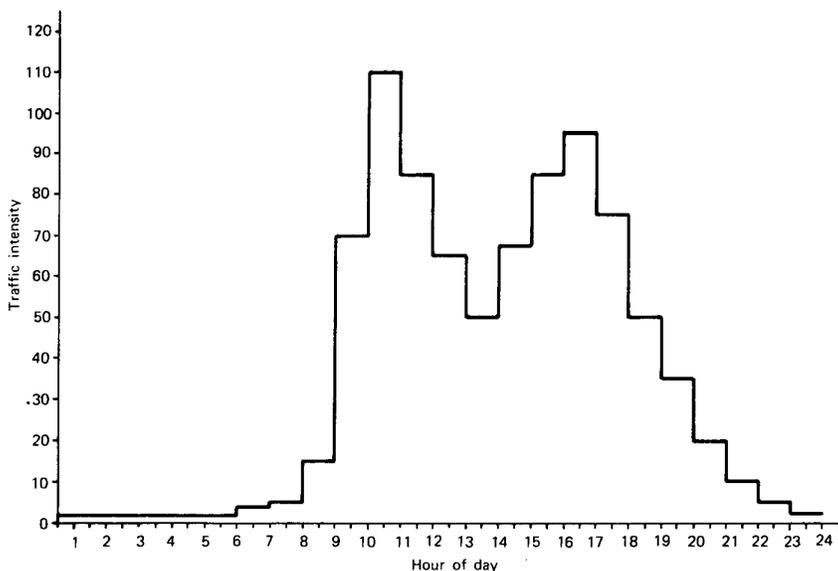


Figura 1.4 Gráfico de barras de intensidad de tráfico en un día laboral normal

Cierto estado coherente se puede encontrar también en la variación de cada hora del día laborable normal. A través del día típico la variación es tal que un período 1-h muestra mayor uso que cualquier otro. A partir de la hora con menos tráfico a la hora del tráfico más grande, la variación puede exceder de 100: 1. La figura 1,4 muestra una variación típica del tráfico de la hora-por-hora para un conmutador de la porción en los Estados Unidos. Puede ser visto que el período más ocupado, la hora ocupada (BH), está entre 10 de la mañana y las 11. A partir de un día del trabajo al siguiente, originar llamadas en BH puede variar tanto como 20 o el 25%. Además de estas variaciones bastante " regulares ", hay también picos imprevisibles causados por la acción del mercado de o la actividad del mercado de valores, del tiempo, desastre natural, acontecimientos internacionales, acontecimientos que divierten, etcétera. El crecimiento normal del sistema debe también ser considerado. Sin embargo, pueden ser hechos pronósticos convenientes del tráfico de BH. Sin embargo, antes de proceder, considere las cuatro definiciones más comunes de BH:

1. La lectura media del día laborable sobre una o dos semanas en la estación ocupada normal (práctica normal para el tráfico conmutado manual).
2. El promedio del tráfico de BH en los 30 días más ocupados del año (definido como el " tráfico promedio de la BH " CCITT Rec. Q.80).

3. El promedio del tráfico de BH en los 10 días más ocupados del año (estándar norteamericano).

4. El tráfico medio de BH en los cinco días más ocupados del año (que refiere a tráfico en días " excepcionalmente ocupados ", CCITT Recs. Q.80 y Q.87).

Al dimensionar un conmutador o centrales telefónicas y las rutas de transmisión, trabajaremos con los niveles del tráfico de BH. La definición que validamos dependería de qué parte del mundo trabajábamos. Por ejemplo, la definición 4 requeriría más equipo que las definiciones 2 o 3.

Medición del tráfico telefónico

Si nosotros definimos **tráfico telefónico como el agregado de llamadas sobre un grupo circuitos o troncales con respecto a la duración llamada tanto como su cantidad**, podemos decir que ese flujo de tráfico (A) es

$$A = C \times T$$

donde C es la cantidad de llamadas por hora y T es la duración de la llamada promedio. De este fórmula aparecería que la unidad del tráfico sería llamada-minutos o llamada-horas.

Supongamos que el tiempo medio de llamada sea 2,5 minutos la cantidad de llamadas en la BH por un día determinado, 237. El flujo sería entonces $237 \times 2,5$, o 592,5 llamadas-minutos o $592,5/60$. La unidad preferida del tráfico es el erlang, nombrado después del matemático danés, A. K. Erlang. El erlang es una unidad sin dimensiones. Un erlang de intensidad del tráfico en un circuito del tráfico significa una ocupación continua de ese circuito en una hora. En vista de un grupo de circuitos, la intensidad del tráfico en erlangs es *el número de los segundos de la llamada por segundo o el número de las horas de la llamada por hora*. Si supiéramos que un grupo de 10 circuitos tenía una intensidad de la llamada de 5 erlangs, esperaríamos que la mitad de los circuitos estuviera ocupada a la hora de la medida. La congestión, las llamadas perdidas, y el grado del servicio asumen que un conmutador o central de teléfono aislado sirve a 5000 suscriptores y que no más el de 10% de los suscriptores desean servicio simultáneamente. Por lo tanto, el conmutador o central se dimensiona con el suficiente equipo para terminar 500 conexiones simultáneas. Cada conexión estaría, por supuesto, entre cualesquiera dos de los 5000 suscriptores. Ahora deje la tentativa del suscriptor No. 501 de originar una llamada. Él no puede porque todo el equipo que conecta está ocupado, aunque la línea que él desea alcanzar puede ser ociosa. Esta llamada del suscriptor 501 se llama una llamada perdida o llamada bloqueada. La probabilidad de la congestión de la reunión es un parámetro importante en la ingeniería del tráfico de los sistemas de telecomunicaciones.

El **grado de servicio** expresa la probabilidad de encontrar congestión durante la BH y se expresa por la letra p. Un típico grado de servicio es $p = 0,1$. Esto significa que un promedio de una llamada en 100 puede ser bloqueada o " perdida " durante una BH.

El grado servicio, un término en la fórmula Erlang, es más exacto definirlo como la **probabilidad de congestión**. Es importante recordar que las llamadas perdidas (llamadas bloqueadas) se refieren a las llamadas que fallan el ensayo de conexión.

Ejemplificamos el grado del servicio con el problema siguiente. Si sabíamos que había 354 líneas conectadas para el servicio y seis llamadas bloqueadas (llamadas perdidas) durante la BH, ¿cuál era el grado del servicio?

$$\text{Congestión} = \frac{\text{Número de llamadas perdidas}}{\text{Total de llamadas ofrecidas}} = \frac{6}{354 + 6} = \frac{6}{360} = p = 0,017$$

El grado de servicio medio para una red puede ser obtenido por adición del grado servicio con que contribuye cada conmutador componente, conmutador de red, o grupo troncal.

Manejo de las llamadas perdidas

En la teoría convencional del tráfico telefónico, se consideran tres métodos para el manejo de llamadas perdidas: (1) las llamadas perdidas sostenidas (LCH), (2) las llamadas perdidas borradas (LCC), y (3) las llamadas perdidas retrasadas (LCD). El concepto de LCH asume la voluntad de rediscado del utilizador del teléfono al recibo de una señal de congestión y continuará marcando de nuevo. Él espera tomar la conexión o una troncal tan pronto como haya disponibilidad.

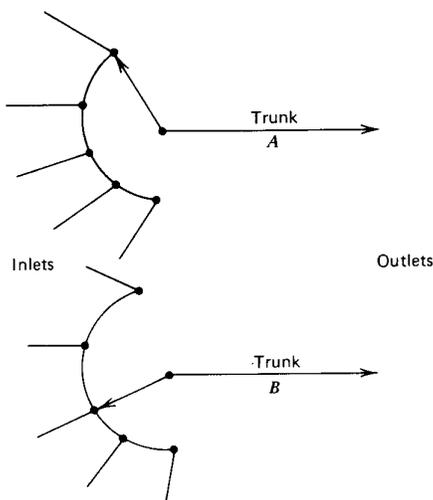


Figura 1.5A Un ejemplo de conmutador con disponibilidad limitada.

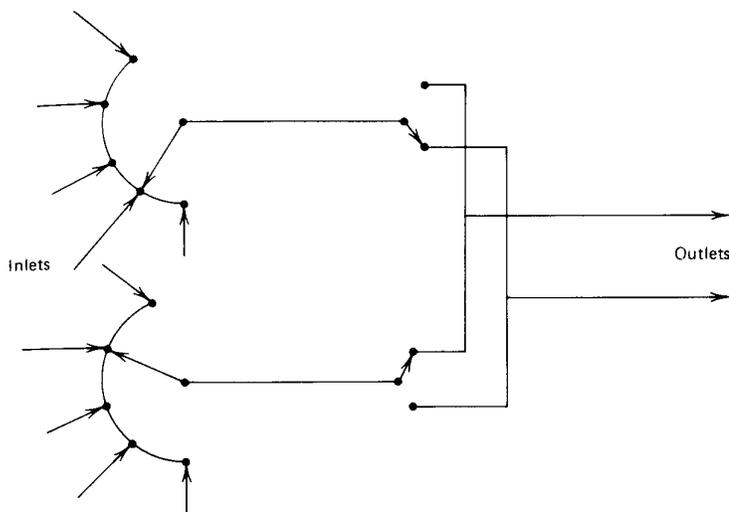


Figura 1.5B Un ejemplo de conmutador con disponibilidad completa.

Es la asunción en el concepto de LCH que las llamadas perdidas son sostenidas o que esperan en el teléfono del utilizador. La fórmula principal del tráfico usado en Argentina se basa en el concepto de LCH. El concepto de LCC, que se utiliza sobre todo en Europa o esos países que

validan práctica europea, asume que el utilizador colgará y esperará un cierto intervalo del tiempo antes de rediscar, si él oye la señal de congestión en su primera tentativa. Tales llamadas, se asume, desaparece del sistema. Un rediscado se considera como iniciar una nueva llamada. La fórmula de Erlang se basa en este criterio. El concepto del LCD asume que ponen al abonado automáticamente en cola. Por ejemplo, se hace esto cuando marcan al operador. También se hace en los sistemas modernos, con la conmutación controlada por computadora.

Fórmula de ERLANG para el tráfico

Cuando dimensionamos una ruta, deseamos encontrar el número de circuitos que servirán esa ruta. Existen varias formulas a nuestra disposición para determinar el número de circuitos basados en la carga de tráfico en la BH. Los factores que determinan el cálculo son los siguientes: (1) Llamadas entrantes y tiempo de retención para distribución. (2) número de fuentes de tráfico, (3) disponibilidad, y (4) manejo de las llamadas caídas.

La fórmula más utilizada en el mundo actualmente es la ERLANG B. Aquí la pérdida significa la probabilidad de bloqueo en el conmutador, debido a la congestión o a "totalidad de líneas troncales ocupadas". Esto se expresa como *grado de servicio EB* o la *probabilidad de encontrar x canales ocupados*. Los otros dos factores en la formula Erlang B son el promedio del tráfico ofrecido y el número de líneas troncales de servicio disponibles.

$$E_b = \frac{A^n / n!}{1 + A + A^2 / 2! + A^n / n!}$$

donde

n = número de troncales de servicio

A= promedio de tráfico ofrecido

E_B =grado de servicio usando la formula Erlang B

Esta fórmula asume que:

- El tráfico se origina en un número infinito de fuentes.
- Las llamadas perdidas son borradas asumiendo un tiempo de retención cero.
- El número de troncales de canales de servicio es limitado.
- Existe completa disponibilidad.

Debemos diferenciar muy bien entre:

Congestión de tiempo: se refiere a la fracción decimal de una hora durante la cual todas las troncales están bloqueadas simultáneamente.

Congestión de llamadas: se refiere al número de llamadas que caen en el primer intento, que denominamos "*llamadas caídas*".

La Tabla 1 se basa en la formula Erlang B y da la información del dimensionamiento de las troncales para ciertos grados de servicio, desde .001 hasta .05 y desde 1 a 150 troncales. La tabla usa unidades UC que son de intensidad de tráfico y se miden en ccs o sea 100 llamadas por segundo y las TU (unidades de intensidad de tráfico) se miden en Erlangs, de donde 1erlang = 36ccs.

Como ejemplo, supongamos que una ruta lleva 16,68 Erlangs con un grado de servicio deseado de .001; vemos que se requerirán 30 troncales.

TA-BLA 1	GS 0,001	GS 0,002	GS 0,005	GS 0,01	GS 0,02	GS 0,05
----------	----------	----------	----------	---------	---------	---------

TRNCs	UC	TU										
1	0.04	0.001	0.07	0.002	0.2	0.005	0.4	0.01	0.7	0.02	1.8	0.05
2	1.8	0.05	2.5	0.07	4	0.11	5.4	0.15	7.9	0.22	14	0.38
3	6.8	0.19	9	0.25	13	0.35	17	0.46	22	0.60	32	0.90
4	16	0.44	19	0.53	25	0.70	31	0.87	39	1.09	55	1.52
5	27	0.76	32	0.90	41	1.13	49	1.36	60	1.66	80	2.22
6	41	1.15	48	1.33	58	1.62	69	1.91	82	2.28	107	2.96
7	57	1.58	65	1.80	78	2.16	90	2.50	106	2.94	135	3.74
8	74	2.05	83	2.31	98	2.73	113	3.13	131	3.63	163	4.54
9	92	2.56	103	2.85	120	3.33	136	3.78	156	4.34	193	5.37
10	111	3.09	123	3.43	143	3.96	161	4.46	183	5.08	224	6.22
11	131	3.65	145	4.02	166	4.61	186	5.16	210	5.84	255	7.08
12	152	4.23	167	4.64	190	5.28	212	5.88	238	6.62	286	7.95
13	174	4.83	190	5.27	215	5.96	238	6.61	267	7.41	318	8.83
14	196	5.45	213	5.92	240	6.66	265	7.35	295	8.20	350	9.73
15	219	6.08	237	6.58	266	7.38	292	8.11	324	9.01	383	10.63
16	242	6.72	261	7.26	292	8.10	319	8.87	354	9.83	415	11.54
17	266	7.38	286	7.95	318	8.83	347	9.65	384	10.66	449	12.46
18	290	8.05	311	8.64	345	9.58	376	10.44	414	11.49	482	13.38
19	314	8.72	337	9.35	372	10.33	404	11.23	444	12.33	515	14.31
20	339	9.41	363	10.07	399	11.09	433	12.03	474	13.18	549	15.25
21	364	10.11	388	10.79	427	11.86	462	12.84	505	14.04	583	16.19
22	389	10.81	415	11.53	455	12.63	491	13.65	536	14.90	617	17.13
23	415	11.52	442	12.27	483	13.42	521	14.47	567	15.76	651	18.08
24	441	12.24	468	13.01	511	14.20	550	15.29	599	16.63	685	19.03
25	467	12.97	495	13.76	540	15.00	580	16.12	630	17.50	720	19.99
26	493	13.70	523	14.52	569	15.80	611	16.96	662	18.38	754	20.94
27	520	14.44	550	15.28	598	16.60	641	17.80	693	19.26	788	21.90
28	546	15.18	578	16.05	627	17.41	671	18.64	725	20.15	823	22.87
29	573	15.93	606	16.83	656	18.22	702	19.49	757	21.04	858	23.83
30	600	16.68	634	17.61	685	19.03	732	20.34	789	21.93	893	24.80
31	628	17.44	662	18.39	715	19.85	763	21.19	822	22.83	928	25.77
32	655	18.20	690	19.18	744	20.68	794	22.05	854	23.73	963	26.75
33	683	18.97	719	19.97	774	21.51	825	22.91	887	24.63	998	27.72
34	711	19.74	747	20.76	804	22.34	856	23.77	919	25.53	1033	28.70
35	739	20.52	776	21.56	834	23.17	887	24.64	951	26.43	1068	29.68
36	767	21.30	805	22.36	864	24.01	918	25.51	984	27.34	1104	30.66
37	795	22.03	834	23.17	895	24.85	950	26.38	1017	28.25	1139	31.64
38	823	22.86	863	23.97	925	25.69	981	27.25	1050	29.17	1175	32.63
39	851	23.65	892	24.78	955	26.53	1013	28.13	1083	30.08	1210	33.61
40	880	24.44	922	25.60	986	27.38	1044	29.01	1116	31.00	1246	34.60
41	909	25.24	951	26.42	1016	28.23	1076	29.89	1149	31.92	1281	35.59
42	937	26.04	981	27.24	1047	29.08	1108	30.77	1182	32.84	1317	36.58
43	966	26.84	1010	28.06	1078	29.94	1140	31.66	1215	33.76	1353	37.57
44	995	27.64	1040	28.88	1109	30.80	1171	32.54	1248	34.68	1388	38.56
45	1024	28.45	1070	29.71	1140	31.66	1203	33.43	1282	35.61	1424	39.55
46	1053	29.26	1099	30.54	1171	32.52	1236	34.32	1315	36.53	1459	40.54
47	1083	30.07	1129	31.37	1202	33.38	1268	35.21	1349	37.46	1495	41.54
48	1111	30.88	1159	32.20	1233	34.25	1300	36.11	1382	38.39	1531	42.54
49	1141	31.69	1189	33.04	1264	35.11	1332	37.00	1415	39.32	1567	43.54
50	1170	32.51	1220	33.88	1295	35.98	1364	37.90	1449	40.25	1603	44.53

Configuraciones básicas de red

Conceptos introductorios

Una red en telecomunicaciones se puede definir como método de conectar conmutadores o centrales entre sí de modo que cualquier un suscriptor en la red pueda comunicarse con cualquier otro suscriptor. Para esta discusión introductoria, asumimos que los suscriptores tienen acceso a la red por un conmutador o central local próximo. Así el problema es esencialmente cómo conectar el conmutador eficientemente. Hay tres métodos básicos de conexión en telefonía convencional: (1) punto a punto, (2) estrella, y (3) estrella doble o de alto orden. La conexión *punto a punto* (*mesh*) es una en la cual cada conmutador o central es conectado por los troncales con cada otro conmutador o central según lo mostrado en la figura 1.10A. Una conexión de *estrella* utiliza un conmutador que interviene, llamado un conmutador o central en tándem, tal que cada conmutador está interconectado vía una sola central en tándem. Un ejemplo de una conexión de estrella se muestra en la figura 1.1B. Una configuración *doble estrella* es una donde los conjuntos de subredes puros de la estrella están conectados vía conmutador en tándem de alto orden, según lo mostrado en la figura 1.1C. Esta tendencia se puede llevar aún más, como vemos más adelante, cuando se discuten las redes jerárquicas. Como regla general podemos decir que las conexiones del acoplamiento están utilizadas cuando hay niveles comparativamente altos del tráfico entre los conmutadores, por ejemplo en redes metropolitanas. Por otra parte, una red de estrella puede ser aplicada cuando los niveles del tráfico son comparativamente bajos (se da en un barrio o localidad pequeña)

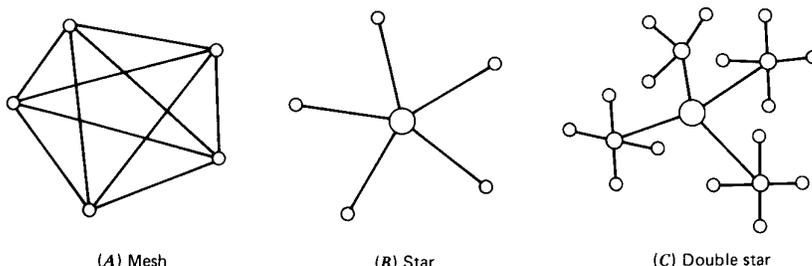


Figura 1.10 Ejemplos de redes telefónicas.

Otro factor que conduce al uso de la estrella y las configuraciones de red de la múltiple-estrella son la complejidad de la red en las troncales de salida (y las entradas) de un conmutador en una red mesh. La mayoría de las redes son combinaciones de estrella y mesh. Por ejemplo, los conmutadores o centrales suburbanos periféricos se pueden conectar con un conmutador o central importante próximo en el área metropolitana central. Este conmutador o central puede servir a suscriptores próximos y se puede conectar en mesh con otros conmutadores o centrales grandes en la ciudad apropiada. Otro ejemplo es el conmutador o central interurbano de la ciudad, que es un conmutador o central en tándem que mira a la red interurbana nacional, mientras que las centrales principales en la ciudad están conectados con ella en mesh. Un ejemplo de un compromiso de la vida real entre el mesh, la estrella, y las configuraciones de la múltiple-estrella se muestra en la figura 1,11.

Las redes jerárquicas

Para traer orden a esta confusión, se desarrollaron las redes **jerárquicas**. Es decir, se desarrolló una red sistemática que reduce las los grupos troncales de salida (y entradas) de una central a una cantidad razonable, permite el manejo de grandes intensidades de tráfico en ciertas rutas, donde sea necesario y también permite ciertos medios de restauración de sobrecarga en

ciertas circunstancias. Considere la figura 1,12, que es un ejemplo simplificado de una red de estrella higher-order. El término "orden" aquí es significativo y conduce a la discusión de redes jerárquicas.

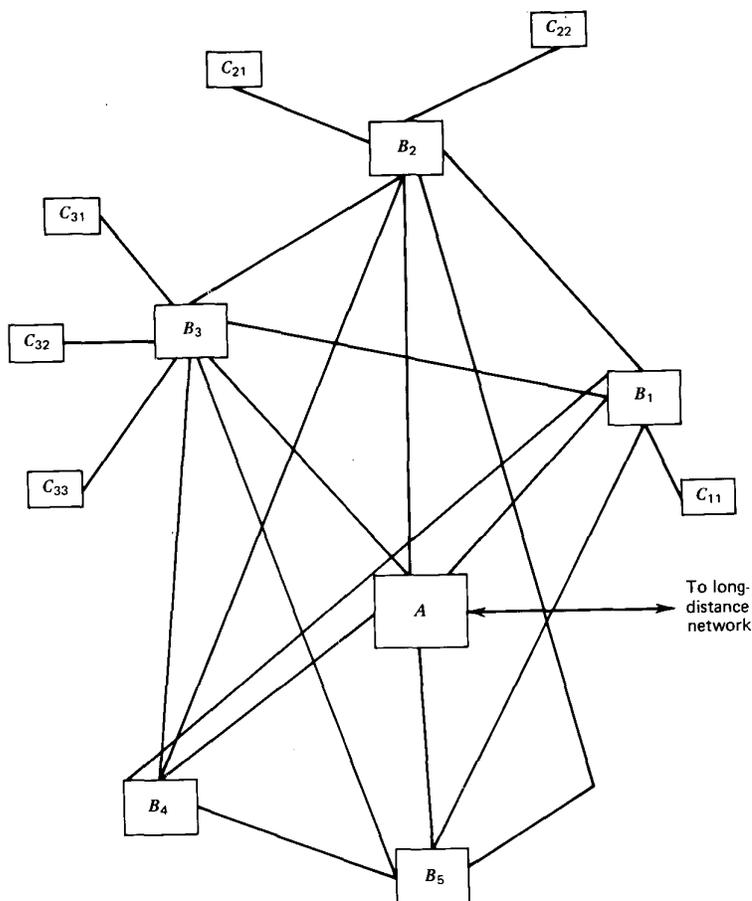


Figura 1.11 Red telefónica típica que sirve una ciudad pequeña como ejemplo de un compromiso entre la red mesh y la configuración de estrella.

El conmutador A es un centro primario clase 4(ATT) (CCITT) – Los B son conmutadores o centrales de la clase 5, una central local y C puede ser un conmutador o central basado en los satélites, o un concentrador. Una red jerárquica tiene niveles que dan órdenes de la importancia de los conmutadores que hacen la red, y ciertas restricciones se imponen en el flujo de tráfico. Por ejemplo, en la figura 1.12 hay tres niveles o filas del conmutador. Los rectángulos más pequeños del diagrama son las centrales de bajo ranking, que han estado marcados con un " 3" para indicar el tercer nivel o fila. Observe las restricciones (o las reglas) de la circulación. Como se traza la figura, el tráfico del área de 3A₁, hacia 3A₂ tendría que atravesar el conmutador 2A₁. Además, el tráfico del conmutador o central 2A₂ a 2A₃ tendría que atravesar

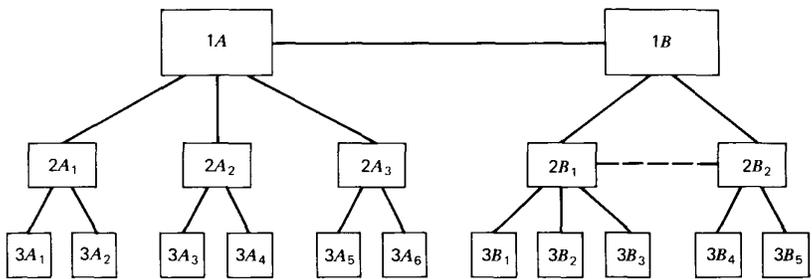


Figura 1.12 La red de estrella de orden más alta

La central 1A. Llevando el concepto algo más adelante, tráfico de cualquier conmutador o central de A a cualquier conmutador o central de B tendría que necesariamente ser encaminado por el conmutador o central 1A.

Las redes jerárquicas de ATT y del CCITT (hoy ITU-T)

Actualmente existen dos tipos de red jerárquica, sirviendo cada porción cerca de el 50% de los teléfonos del mundo. Éstas son la red de ATT, usada generalmente en Norteamérica, y la red del CCITT, usada típicamente en Europa o las áreas del mundo bajo influencia europea. Francamente, hay realmente poca diferencia desde el punto de vista del enrutamiento. Cada una de las redes tiene cinco niveles o filas en la jerarquía, aunque la CCITT tiene en cuenta un sexto nivel. La diferencia básica está en la nomenclatura usada. La figura 1.13 ilustra la jerarquía de ATT y la figura 1.14, del CCITT. Particularmente en Europa, la terminología distingue entre las centrales en tándem y las centrales de tránsito. Aunque ambos realizan la misma función, la conmutación de troncales, servicios en tándem de un conmutador o central local, según lo mostrado en el fondo de la figura 1.14 y figuras en los niveles más bajos de la jerarquía. Un conmutador o central del tránsito conmuta troncales en el área de larga distancia.

También, en esquemas internacionales de enrutamiento del CCITT, debemos esperar ver el término " CT, " el significado " central de tránsito " El CCITT pone generalmente un número después de CT, como sigue: CT1, el conmutador o central de más alto nivel del tránsito en el enrutamiento del CCITT; CT2, la de orden siguiente a la más alta; y CT3, la tercera orden de mérito. En terminología del CCITT, las troncales sirven como conexiones de más alto nivel. Los centros primarios están recogiendo los centros (centrales) para que el tráfico interconecte la red interurbana. El término "centro" se puede relacionar con "central, " significando un nodo o un conmutador de la conmutación, generalmente de un orden más alto.

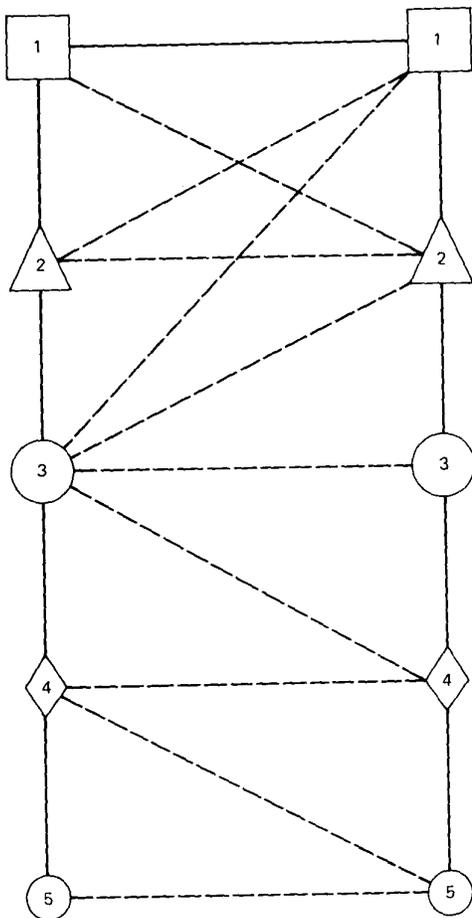


Figura 1.13 (ATT) la red jerárquica norteamericana (las líneas discontinuas muestran troncales del alto nivel de uso). Notar cómo las dos filas más altas están conectadas en mesh.

La Figura 1.13 presenta el diagrama de ruteo de ATT. El orden más elevado en la jerarquía es la central de clase 1 y el más bajo la oficina de clase 5. Debería notarse que un grupo de troncales de alto uso (HU) puede ser establecido entre dos centros de conmutación sin tener en cuenta la localización del rango, siempre que el volumen de tráfico lo justifique. La tabla que sigue aclara las nomenclaturas comparativas de los dos tipos de jerarquía, con el rango más alto en la parte superior.

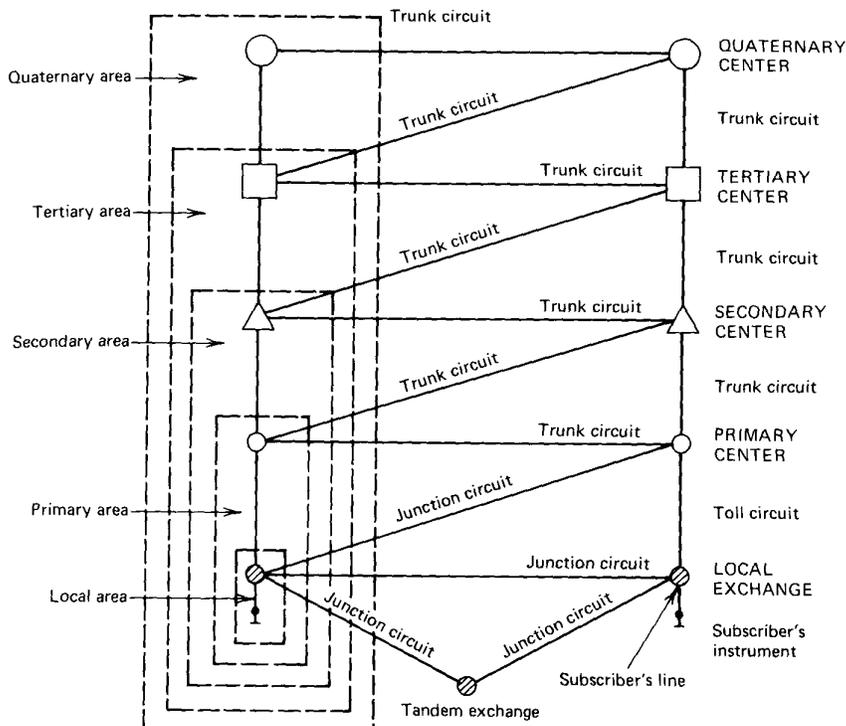


Figura 1.14 La estructura jerárquica CCITT

ATT

CCITT

- Class 1. Centro Regional
- Class 2. Centro Seccional
- Class 3. Centro Primario
- Class 4. Punto de facturación
- Class 5. Oficina terminal

- Centro Cuaternario
- Centro Terciario
- Centro Secundario
- Centro Primario
- Oficina Local

La primera restricción en el diseño del enrutamiento deriva del CCITT Rec. Q.13, sección titulada " reglas básicas para encaminamiento de llamadas, " que esencial establece que el máximo número de circuitos para ser utilizados en una llamada internacional debe ser 12 y que máximo número de circuitos internacionales debe ser seis. En casos excepcionales y para un número bajo de llamadas, el número total de circuitos puede ser 14, pero iguala en este caso que el número máximo de circuitos internacionales es seis (véase el capítulo 6, sección 3, para la discusión adicional). En figuras 1,13 y 1,14 se observa que procediendo desde encima del encadenamiento, a través y hacia abajo de las rutas en cada caso, allí son nueve circuitos en tándem y que solamente quedan tres para la conexión internacional. Por supuesto, este número se convierte en 4 porque en la parte superior " a través " del circuito se considera como conexión internacional.

Las REDES LOCALES

INTRODUCCIÓN

La importancia del diseño de la red local, si es aislada o parte de una red nacional, no es tan grande. En comparación con el sector interurbano, el sector local no es el gran productor de la renta per capita invertida, pero no habría red nacional sin red local. Las compañías o las administraciones telefónicas invierten, en el promedio, más el de 50% en sus áreas locales. En los países más grandes, desarrollados, la inversión en planta local puede alcanzar 65 a el 70% de la inversión total de la planta. Concedamos que el área local incluye lo siguiente: el plantel del suscriptor, los conmutadores o centrales locales, la planta del troncales que interconectan estas centrales, tan bien como esos troncales que conectan un área local con el nivel siguiente de la jerarquía de la red, y el conmutador o central de la clase 4 (ATT) o el centro primario (CCITT hoy ITU-T).

Para acentuar más la importancia del área local, considere la Tabla 2.1, que fue tomada del CCITT. Sin embargo, nuestra meta es construir la red más económica, si se asume una calidad establecida del servicio. En vista de la calidad del servicio y de la economía, ciertos requerimientos tendrán que ser puestos en el diseño. Por ejemplo, desearemos saber:

- Extensión geográfica del campo de interés local.
- Número de habitantes y de la densidad existente del teléfono.
- Hábitos de llamadas.
- Porcentaje de teléfonos de empresas.
- Localización de los conmutador o centrales de teléfono y de la extensión existentes de sus áreas de la porción.
- Esquema de troncales
- Señalización existente y características de transmisión

La tabla 2.1 muestra el promedio de inversiones públicas en telefonía para el plantel exterior de 16 tomados por el CCITT

TABLA 2.1

13% para el plantel local

23% para los troncales interurbanos

27% los conmutadores o centrales el

27% plan para redes locales periféricas

10%. Edificios y tierras.

También asumamos que cada conmutador o central en la muestra será capaz de servir a hasta 10.000 suscriptores. También asuma que todos los teléfonos en el área tienen números de siete dígitos. Otra asunción es que todos los suscriptores son conectados con sus conmutadores o centrales respectivas de la red por pares telefónicos normalizados, dando por resultado una cierta longitud limitadora del lazo de suscriptor. Esto conduce al primer factor que obliga que se ocupa de la transmisión y que señala características. En términos generales, el suscriptor debe poder oír la parte distante y llamar razonablemente bien (transmisión) y " señalizar " su conmutador de la porción.

Del BUCLE del SUSCRIPTOR

El par de alambres que conectaban al suscriptor con su conmutador local de la porción se ha definido como el *lazo de abonado*. Es un par de alambres que provee un camino metálico conformando un lazo de c.c. para llevar lo siguiente:

- Tensión de batería para el micrófono del teléfono
- Un voltaje de campanilla de c.a. para avisar de una llamada entrante (20Hz x 110Vca)
- Una corriente de lazo que debe fluir por el par telefónico cuando la horquilla del teléfono es levantada, avisándole al conmutador que requiere acceso. *telling*
- Un dial de teléfono que, cuando se disca un número, conecta y desconecta el lazo cerrado, indicando al equipo de conmutación el número del teléfono distante con que se desea comunicar, en el caso de discado por pulsos.
- Un teclado con 12 botones, denominado DTMF, que emite por el lazo de abonado dos frecuencias simultáneas que identifican a uno y solo uno de los números a discar.

El bucle de suscriptor típico se acciona por medio de un circuito de alimentación de la batería en el conmutador. Tal circuito se muestra en la figura 2.2. El voltaje de la fuente de la batería del teléfono ha estado estandarizado en -48V c.c.

Límites de la longitud del bucle de suscriptor

Los dos criterios básicos que se consideran al diseñar lazos de abonado, y que limitan su longitud, son los límites de la atenuación de la voz, que llamamos *diseño de transmisión*

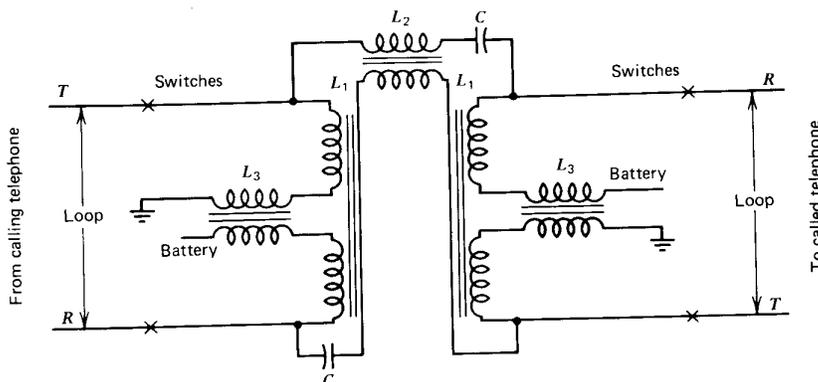


Figura 2.2 Circuito alimentado a batería - Nota: La batería y la tierra se alimentan a través de los inductores L_2 y L_1 , a través del conmutador a los lazos de abonado (Circuito de Bell Laboratorios)

y los límites de la señalización (cubiertos bajo lo que llamamos *diseño de la resistencia*). La atenuación en este caso se refiere a pérdida de la CA del bucle en la frecuencia de la referencia, medida en dB (o nepers). La frecuencia de referencia es 1000 Hz en Norteamérica y 800 Hz en Europa y muchas otras partes del mundo. Mientras un lazo del teléfono se extiende en longitud, su pérdida en frecuencia de referencia aumenta. La llamada será atenuada tal que el abonado no podrá oír suficientemente bien. Asimismo, al extender un lazo en longitud mientras que el voltaje de la batería (fuente) permanece constante, la eficiencia de la señalización se pierde en última instancia. Este límite es una función de la pérdida $I \times R$ de la línea. Señalando que los límites son una función de la conductividad del conductor del lazo y de su diámetro o sección. Para esta discusión introductoria, podemos considerar que los límites de la transmisión son controlados por los mismos parámetros. Considere un conductor de cobre. Cuanto más grande es el conductor, mayor es la capacidad de conducir corriente, y así lograríamos mayores distancias de tendido. Como el cobre es costoso, no podemos hacer el con-

ductor tan grande como desearíamos y ampliar largas distancias por encima del límite del lazo de abonado. Esto es un constreñimiento económico.

El equivalente de referencia

“Escuchar lo suficientemente bien” en una conexión telefónica es una cuestión subjetiva bajo el título supuesto de la "satisfacción de cliente." Con respecto a la señal recibida del teléfono, la satisfacción del suscriptor es afectada por el nivel (potencia de la señal), la relación señal/ruido, y la característica de atenuación de la respuesta en frecuencia. Un sistema común del grado internacionalmente en uso para calificar de la satisfacción de cliente es hoy el sistema del *equivalente de la referencia*. Debe ser acentuado que la satisfacción del abonado es subjetiva. Para medir la satisfacción, el cuerpo regulador para las telecomunicaciones, la UIT, ideó un sistema de clasificar el nivel suficiente "satisface" con el familiar dB como unidad de medida. El equivalente de referencia se analiza en dos porciones básicas. El primero es un valor subjetivo en el grado del decibelio de un tipo determinado de subconjunto. La segunda parte es simplemente las pérdidas (medidas en 800 hertzios) end-to-end de la red que interviene. Para determinar el equivalente de la referencia de un circuito determinado, sumamos algebraicamente el valor en dB asignado al subconjunto, a las pérdidas del circuito que conecta. Observemos cómo el sistema equivalente-referencia fue desarrollado, teniendo presente otra vez que es una medida subjetiva que se ocupa de los gustos y tiene aversión del humano "medio". Un estándar para el equivalente de la referencia fue determinado en Europa por un equipo del personal calificado en un laboratorio. Una conexión telefónica, prevista para ser el sistema de teléfono más eficiente conocido, fue establecida en el laboratorio. El sistema original de la referencia o la referencia principal única consistió en lo siguiente:

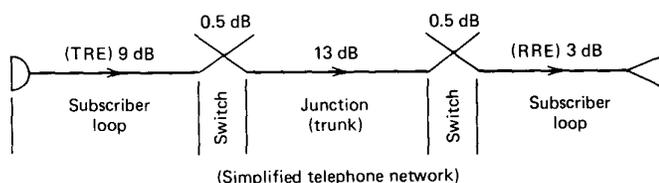
- Un transmisor telefónico normalizado.
- Receptor del teléfono tipo Bell.
- Interconectando éstos elementos, un lazo de suscriptor de "cero dB de pérdida".
- Conectando el lazo, una batería central manual, 22V c.c. de central de teléfono (conmutador).

Para evitar la ambigüedad del lenguaje, el equipo de la prueba utilizó un lenguaje de la prueba que consistió en logatoms. Un "logatom" es una palabra de una sola sílaba que consiste en una consonante, una vocal, y otra consonante.

Desde entonces se han desarrollado métodos más exactos de la medición. Un sistema moderno de referencia está disponible ahora en el laboratorio de ITU (unión de telecomunicaciones internacional) en Ginebra, Suiza, llamado el NOSFER. De esta referencia principal, los estándares de la prueba en el terreno están disponibles para llamar por teléfono las compañías, las administraciones, e industria para establecer los equivalentes de la referencia de los subconjuntos del teléfono en uso. Estos conjuntos de la prueba en el terreno están calibrados para la equivalencia con el NOSFER. El NOSFER se compone de un transmisor estándar del teléfono, de un receptor, y de una red. El equivalente de la referencia del subconjunto de un suscriptor, junto con el puente asociado de la línea y de alimentación del suscriptor, es una cantidad obtenida balanceando la intensidad de las señales de voz del receptor y se expresa concernientemente al conjunto o a una parte correspondiente del sistema de la referencia de NOSFER (o campo).

La aplicación

La mayoría de las compañías o de las administraciones telefónicas considera que un subconjunto estándar del teléfono está utilizado. El objetivo es medir las capacidades de estos subconjuntos con respecto a intensidad. Así las pruebas del tipo se ejecutan en los subconjuntos contra estándares calibrados del campo. Según lo mencionado anteriormente, éstos se pueden hacer en el conjunto solamente o en el conjunto más una longitud fija del bucle de suscriptor y del puente de la alimentación de características sabidas. Las pruebas son subjetivas y se realizan en un laboratorio. El micrófono o el transmisor y el auricular o el receptor cada uno se clasifican por separado y se llaman la *Referencia Equivalente del Transmisor (TRE)* y el *Equivalente de la Referencia de Recepción (RRE)*, respectivamente. La unidad de medida es el dB, y los valores negativos indican que el equivalente de la referencia es mejor que el estándar del laboratorio. En sistemas telefónicos, el equivalente *total de la referencia (ORE)* es la medida más común. Simplemente, ésta es la suma del TRE, del RRE, y de las pérdidas de la red que interviene. Ahora considere la red telefónica simplificada mostrada en el diagrama siguiente.



La referencia equivalente para este circuito es 26dB, incluyendo una pérdida 0.5-dB para cada conmutador. Según lo definido previamente, una unión o una troncal es un circuito que conecta dos centrales. Éstos pueden o no ser adyacentes. El circuito mostrado en el diagrama precedente se puede llamar un plan pequeño de transmisión. Para esta discusión, podemos definir un plan de la transmisión como método de asignar las pérdidas end-to-end en un circuito de teléfono. Debe tenerse en cuenta que todos los circuitos de teléfono, por lo menos en todos los circuitos analógicos convencionales, tendrán pérdidas. El equivalente de referencia es un dispositivo práctico para clasificar un plan con respecto a la satisfacción del suscriptor (véase a CCITT Recs. P.42 y P.72). Cuando estudiamos, planeamos o desarrollamos una transmisión telefónica, debemos considerar generalmente que todas las secciones de un circuito son simétricas. Examinemos el circuito mostrado en el diagrama precedente. En cada extremo de un circuito tenemos un bucle de suscriptor. Así la misma pérdida se asigna a cada bucle en el plan, que puede no ser el caso general en la vida real. Para mantener la simetría con respecto al equivalente de referencia de los subconjuntos del teléfono, utilizamos el término $(T + R)/2$. Como vemos del diagrama precedente, el TRE y el RRE del subconjunto tienen valores distintos. Conseguimos $(T + R)/2$ sumando el TRE y el RRE y dividiéndolos por 2. Esto se hace para llegar la simetría deseada.