

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA AMPLIACIÓN CAPACIDAD  
RADIO EN ESTACIONES BASE CELULAR 2G

## **INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR:**

**MARCO ANTONIO ORIHUELA ROSALES**

**PROMOCIÓN  
2006-II**

**LIMA-PERÚ  
2010**

**HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA AMPLIACIÓN  
CAPACIDAD RADIO EN ESTACIONES BASE CELULAR 2G**

A mi MAMÁ por todo el amor que da.  
A mi MAMÁ por estar siempre conmigo.  
A mis hermanos que los quiero mucho.  
A mi padre que está en cielo, gracias Don Elmer

## SUMARIO

En el Capítulo I se describe el objetivo del presente proyecto conjuntamente con los indicadores de calidad de los servicios de la red GSM sujetos a auditoría por parte de los organismos reguladores, su implicancia en las diferentes áreas o especialidades necesarias para realizar una ampliación de capacidad; basada en la normativa vigente en el Perú, se seleccionan los más relevantes a ser monitoreados y se definen sus umbrales y criticidad.

En el Capítulo II se describe el marco teórico necesario para el presente proyecto, se hace una revisión básica de los conceptos, topología, componentes y funcionamiento de la capa física (interfaz aire) de tecnología GSM. También se describe teoría sobre planificación de tráfico, criterios para el cálculo de intensidad de tráfico basado en fórmulas de Erlang.

En el Capítulo III se describe y se plantea desarrollar herramientas informáticas que incluye un conjunto de algoritmos y procedimientos que permiten automatizar el seguimiento de los indicadores de calidad de la red.

En el Capítulo IV se muestra una implementación de lo planteado en el capítulo III mostrando los resultados.

En la parte final se tienen conclusiones y recomendaciones, que sintetizan el trabajo realizado.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PROBLEMÁTICA ACTUAL</b> .....	3
1.1 Descripción del problema .....	3
1.2 Objetivo del trabajo.....	3
1.3 Evaluación del problema.....	3
1.3.1 Reglamentación sobre la calidad de los servicios en el Perú.....	3
1.3.2 Limitación de recursos en ampliación de capacidad de acceso de red .....	7
1.3.3 Limitación en el análisis de los datos de los indicadores de la red.....	9
<b>CAPITULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	11
2.1 Arquitectura de red en GSM .....	11
2.1.1 La estación móvil.....	11
2.1.2 El subsistema de estación base.....	12
2.1.3 El subsistema de conmutación de red .....	15
2.2 Capa física en GSM.....	20
2.2.1 Bandas de frecuencias: Canalización .....	21
2.2.2 Interfaz radio en GSM.....	22
2.3 Planificación de capacidad .....	27
2.3.1 Requerimientos de capacidad.....	27
2.3.2 Criterios generales para calcular el tráfico .....	29
<b>CAPITULO III</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN</b> .....	34
3.1 Desarrollo Informático.....	34
3.2 Arquitectura definida: CLIENTE/SERVIDOR.....	35
3.2.1 Cliente .....	36
3.2.2 Servidor .....	36
3.3 Características de la arquitectura Cliente/Servidor .....	36
3.3.1 Ventajas del esquema Cliente/Servidor .....	37
3.3.2 Desventajas del esquema Cliente/Servidor.....	38
3.4 Principales elementos para el desarrollo de la herramienta informática.....	38
3.4.1 Gestor de Base de Datos.....	38

3.4.2	Interfaz para usuario de la herramienta informática .....	39
3.5	Programación y Algoritmo para la herramienta informática.....	40
3.5.1	Etapas de programación de algoritmos.....	40
3.5.2	Objetivos de los Algoritmos en Ampliación de Capacidad.....	41
<b>CAPITULO IV</b>		
<b>IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN .....</b>		
4.1	Lenguaje para gestor de Base de Datos: SQL.....	43
4.1.1	Ventajas.....	43
4.1.2	Roles de MySQL.....	44
4.2	Lenguaje de programación: Visual FOX .....	44
4.3	Resultados.....	45
4.4	Características de la Implementación .....	52
4.4.1	Características de HW y SW.....	52
4.4.2	Costos SW / HW y Tiempo de Implementación.....	52
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		
<b>ANEXO A</b>		
<b>PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN, CÁLCULO Y REPORTE DEL INDICADOR DE CALIDAD DEL SERVICIO PÚBLICO MÓVIL TASA DE INTENTOS NO ESTABLECIDOS (TINE) .....</b>		
<b>ANEXO B</b>		
<b>PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN, CÁLCULO Y REPORTE DEL INDICADOR DE CALIDAD DE TELEFONIA MÓVIL TASA DE LLAMADAS INTERRUMPIDAS (TLLI) ..</b>		
<b>ANEXO C</b>		
<b>LÍMITES PARA EL USO DE SERVICIOS PÚBLICOS DE TELECOMUNICACIONES... ..</b>		
<b>ANEXO D</b>		
<b>CÁLCULO DE LA CONSTANTE USADA PARA CALCULAR TRX.....</b>		
<b>ANEXO E</b>		
<b>IDENTACIÓN.....</b>		
<b>ANEXO F</b>		
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		

## INTRODUCCIÓN

El despliegue de las redes de telefonía móvil en el Perú en los últimos años se ha desarrollado de manera rápida por el incremento de usuarios y por la demanda a nuevos servicios que tiene para ofertar los operadores. Los teléfonos móviles hoy en día ya no sólo sirven para realizar llamadas telefónicas sino también para acceder a múltiples aplicaciones entre ellas la mensajería corta (SMS-Short Message Service) y acceso a Internet.

Para mejorar la calidad ha sido necesario incrementar el número de emplazamientos móviles (BTS - Base Transceiver Station) y de canales de acceso radio en las BTS, optimizando parámetros, recursos para su óptimo aprovechamiento, así mismo las tasas de transmisión para poder satisfacer eficientemente sus necesidades.

La planificación de una red celular como el GSM (Global System for Mobile communications) juega un papel fundamental en el cálculo de cobertura radioeléctrica y de capacidad. La cobertura radioeléctrica (fijada por los equipos y las condiciones de propagación del entorno) y la capacidad (fijada por el tráfico) pueden evaluarse de forma independiente (no sucede así en un sistema como el UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) donde las máximas pérdidas a compensar dependen del número de usuarios a los que el sistema esté dando servicio, efecto respiración). Básicamente, los parámetros de calidad para cobertura radioeléctrica vienen fijados por el porcentaje de ubicaciones que superan un cierto umbral de potencia recibida, y para la capacidad, por la probabilidad de bloqueo del sistema.

El diseño de la red de la operadora eficiente también se considera la necesidad de contar con los distintos elementos de red, para proveer comunicaciones con calidad óptima; soportar el volumen de tráfico de los servicios, contar con canales de radio necesario, que aseguren la calidad y la no interrupción de las comunicaciones.

Asimismo, contar con tecnología eficiente que cuente con proveedores de elementos de red de reconocido prestigio y presencia nacional e internacional, que aseguren la actualización y renovación de los distintos elementos de red a valores de mercado competitivos.

La tecnología utilizada en el Perú está disponible comercialmente por proveedores de reconocida solvencia, tanto técnica como económica; en consideración a la necesidad de contar con el soporte técnico permanente que asegure la calidad y eficiencia del servicio,

el cual debe ser homogéneo para todo el país.

El diseño de la red eficiente se considera los indicadores de calidad dados por el organismo regulador de telecomunicaciones.

Los procesos de planificación, implementación, optimización y otros que se realizan en ingeniería están acompañados por herramientas informáticas que facilitan en el procesamiento de datos para su entendimiento y toma de decisiones.

En la actualidad existen múltiples soluciones de herramientas aplicadas a la ingeniería y puntualmente en el campo de las telecomunicaciones, estas herramientas pueden ser de uso libre (Software Libre) o de uso comercial (Software Propietario).

En la actualidad no existen herramientas desarrolladas a medida para una determinada función, y es éste el objetivo del presente informe, desarrollar un herramienta informática con recursos propios que no genere mucho costo y de gran utilidad.

La herramienta será basada en consultas a base de datos es la mejor manera de procesar datos y teniendo un interfaz de programación, generar algoritmos para encontrar resultados deseados para toma de decisiones en Ampliación de Capacidad de Radio.

El propósito del presente informe es ayudar a comprender la importancia de la convergencia de la ingeniería de telecomunicaciones con la informática para posibles desarrollos a gran escala en el Perú y como posible caso de generación de empleo.

Se considera que éste es un campo que aún tiene mucho por desarrollar en los diferentes campos y en especial en comunicaciones inalámbricas en sus diferentes tecnologías que van desde la 2G (2ª. Generación) hasta la 3G (3ª. Generación) con sus respectivas mejoras llamados 3.5 G y los ensayos de 4G (4ª. Generación) que se viene implementando en diferentes partes del mundo cómo es el caso del Perú en donde las pruebas se encuentran en su fase inicial.



## **CAPÍTULO I PROBLEMÁTICA ACTUAL**

En este capítulo se realiza el planteamiento de ingeniería del problema, para ello primero se describe el problema y luego se expone el objetivo del trabajo, también se evalúa el problema

### **1.1 Descripción del Problema**

Mantener los indicadores de calidad de red dentro de los valores óptimos sujeto a auditoria por parte de los organismos reguladores.

### **1.2 Objetivo del trabajo**

Disponer una herramienta que permita identificar de manera automática las estaciones base que requieren ampliación de capacidad.

### **1.3 Evaluación del problema**

Actualmente en el Perú la calidad de los servicios de telecomunicaciones está reglamentada por el Ministerio de Comunicaciones (MTC) y el Organismo Supervisor de Telecomunicaciones (OSIPTEL), en ellos se dan una serie de indicadores, recomendaciones y límites para la Calidad de Servicios.

#### **1.3.1 Reglamentación sobre la calidad de los servicios en el Perú**

Para lo que respecta al servicio de telefonía móvil (aplica para red actual de GSM) se tiene los siguientes indicadores:

- **Tasa de Intentos No Establecidos (TINE):** Definido como la relación, en porcentaje, de la cantidad de Intentos No Establecidos sobre el Total de Intentos. Aplíquese para este indicador, el Procedimiento de Medición y Valor Referencial de Calidad descrito en el Anexo A.

- **Tasa de Llamadas Interrumpidas (TLI):** Definido como la relación, en porcentaje, de la cantidad total de Llamadas Interrumpidas sobre el total de Llamadas establecidas. Aplíquese para este indicador, el Procedimiento de Medición y Valor Referencial de Calidad descrito en el Anexo B.

Para el caso de Ampliación de Capacidad de Red lo que cuida es no sobrepasar el indicador TINE, considerando lo siguiente: Este indicador mide la cantidad de intentos de llamadas originadas o terminadas en las Estaciones Base o Repetidoras que, en cualquier hora del día, no logran establecer la llamada con relación al total de intentos producidos en las Estaciones Base, debido a causas atribuibles a la red del operador.

### Valor Objetivo del indicador TINE/Estación Base/Hora

Se trata de establecer la probabilidad de bloqueo entre estaciones base y estaciones de control en una red celular. Por tal razón el siguiente esquema solo considera a la EB y la Estación de Control respectiva, como fuentes probables de bloqueo.

Las probabilidades de bloqueo o pérdida que se consideran son:

- De pérdida en el tramo Móvil – Estación Base en la hora Cargada = 0.02 (2%).
- Probabilidad de pérdida en el tramo Estación base – Estación de Control en la hora Cargada = 0.01 (1%)
- De pérdida en conjunto o, o de llamadas no establecidas (TINE/EB/hora), se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$TINE = 1-(1-P1)(1-P2)(1-P3)(1-P4)(1-P5)(1-P6)(1-P7)(1-P8) = 0.0298 \quad (1.1)$$

TINE = 2.89% = 3% (Recomendado)

Las empresas operadoras, cuyo indicador TINE/Estación Base/Hora, sobrepase el umbral de 3% en cualquier hora del día, incurrirán en infracción grave.

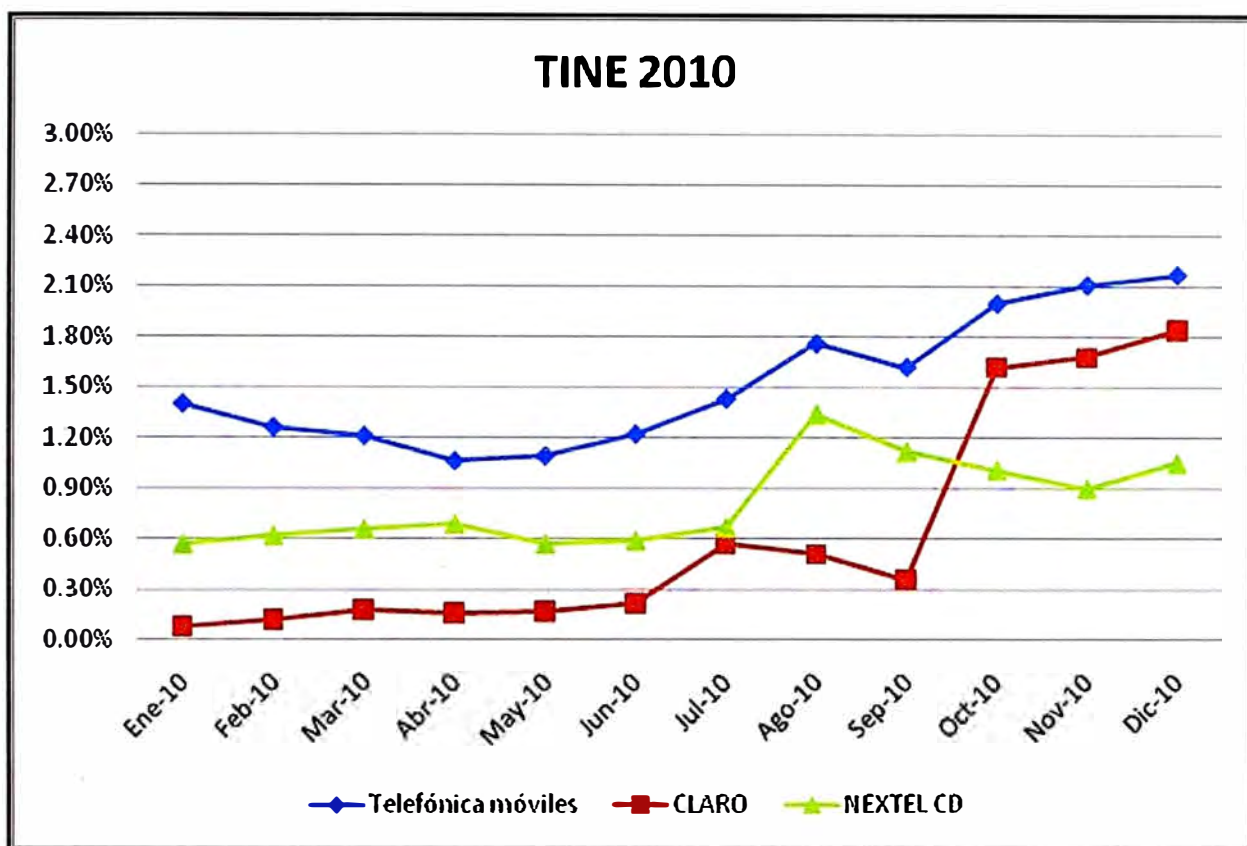
En ampliaciones de capacidad de red de acceso que es el tramo de Móvil – Estación Base se realiza las acciones necesarias para mantener los márgenes dentro de lo indicado por el Organismo Supervisor, esto es: Probabilidad de pérdida en el tramo Móvil – Estación Base en la hora Cargada = 0.02 (2%)

### TINE de los operadores en Perú

La Tabla 1.1 muestra que las 3 operadoras en el Perú cumplen con lo establecido según las normas vigentes. Ver Figura 1.1

**Tabla 1.1** TINE de proveedores (Fuente: OSIPTEL)

	Telefónica móviles	CLARO	NEXTEL CD	NEXTEL TELEFONIA
ene-10	1.40%	0.08%	0.57%	0.25%
feb-10	1.26%	0.12%	0.62%	0.25%
mar-10	1.21%	0.18%	0.66%	0.36%
abr-10	1.06%	0.16%	0.69%	0.43%
may-10	1.09%	0.17%	0.57%	0.26%
jun-10	1.22%	0.22%	0.59%	0.29%
jul-10	1.43%	0.57%	0.67%	0.27%
ago-10	1.76%	0.51%	1.34%	0.28%
sep-10	1.62%	0.36%	1.12%	0.92%
oct-10	2.00%	1.62%	1.01%	0.50%
nov-10	2.11%	1.68%	0.90%	0.35%
dic-10	2.17%	1.84%	1.05%	0.42%



**Figura 1.1** Bloqueo de llamadas por incremento en el tráfico (Fuente: Telefónica Móviles)

Estos indicadores son monitoreados continuamente, tomando KPIs de la red y almacenándolo en una Base de Datos para su respectivo análisis.

El análisis se basa en la extracción de datos de la red, a través de sus sistemas de gestión o directamente de los elementos de red. En algunos casos, dado que puede afectar al rendimiento de la red, se activan a petición del operador en aquellas celdas que se desea monitorear, y durante un tiempo determinado.

Los sistemas y herramientas de análisis que se encargan de procesar esos datos, entregan indicadores clave o KPIs (Indicador de Desempeño Clave), capaces de ofrecer una imagen fiel del funcionamiento de la red.

La virtud de estos sistemas es que permiten identificar problemas de red o de congestión, y con un tratamiento adecuado de estos datos se pueden localizar las zonas con problemas de funcionamiento por razones de configuración, capacidad o interferencia, reflejadas en indicadores como el número de llamadas no atendidas, caídas, reintentos, etc.

Existen sistemas más inteligentes que pueden facilitar el mantenimiento preventivo de la red. Estudiando la evolución temporal de ciertos parámetros y extrapolando valores al medio plazo, se puede prever posibles problemas futuros y anticiparse a ellos con medidas como la reconfiguración de la red o la ampliación de su capacidad.

Los KPIs que involucran en la Ampliación de Red de Acceso son los siguientes:

- **Canales de Trafico disponibles:** Son los Time Slot GSM que están disponibles para ser usados tanto en Voz y Datos, para el análisis a realizar se le llamará TCHdisp.
- **Total de Intentos de llamadas:** Son los el total de llamadas que lograron ingresar a la red, para el análisis a realizar se le llamará TCHatt.
- **Total de intentos de llamadas congestionadas:** Son el total de llamadas que ingresaron a la red pero que no lograron terminar la llamada por no disponibilidad de canales de tráfico, para el análisis a realizar se le llamará TCHcong.
- **Porcentaje de Congestión de Canal:** Es la comparación de TCHcong entre TCHatt mostrado en porcentaje, para el análisis se le llamará %TCHcong. Por norma vigente deberá ser menor al 3%(<3%).
- **Trafico cursado en Full Rate:** Es el trafico cursado en Full Rate medidos en Erlang, para el análisis se le llamará TCHfulltraf.
- **Trafico cursado en Half Rate:** Es el trafico cursado en Half Rate medidos en Erlang, para el análisis se le llamará TCHhalftraf.
- **Nombre, Banda de Frecuencia, Sector, Hora/fecha:** Indicadores generales de una Estación Base

La Tabla 1.2 es un ejemplo de cómo se muestran los KPIs en una Base de Datos.

**Tabla 1.2** Parte de Base de Datos de KPIs de Red GSM. (Fuente: Elaboración propia)

Bnd	Dpto.	Nombre	CELL	S	Hra	A	B	C	D	E
850	Junin	ZICHANAKI	WU690	2	19	0.0	51.9	10138	7671	27.0
850	Moquegua	EJ_PIGJO	ZO409	3	19	0.0	47.9	8474	4765	26.0
850	Arequipa	ARCATA	AR039	1	21	0.2	24.5	1904	1036	27.9
850	San Martin	IBAN	SZ690	2	20	0.0	11.9	1370	681	6.0
850	Puno	CCAICONI_AJTO	PU398	1	19	0.0	7.9	824	396	5.0
850	Junin	ZICHANAKI	WU690	1	19	0.0	53.8	9721	4150	28.0
850	Huanuco	JJATA	HN898	1	20	0.1	11.4	1121	446	6.0
850	La libertad	COPCOBBA2	WW008	1	19	0.3	53.3	5535	2171	28.0
850	La libertad	JARCO	WW099	3	0	0.2	53.5	1122	412	28.0
850	Ica	JOP_BAEP TROP	IC593	2	23	1.9	46.0	2855	1031	28.0
850	Ayacucho	ZICHARI	AY764	2	18	0.0	27.9	1375	493	14.0
850	Huanuco	JJATA	HN898	3	19	0.3	23.1	2446	854	12.0
850	La libertad	ZAJERBO	WW090	2	0	1.7	48.3	1821	611	27.0
850	Piura	PECHURA_KB43	PI905	1	20	0.3	49.3	7015	2192	26.0
850	Lambayeque	ZICPI	WA390	1	20	0.3	53.0	6961	2163	27.0
850	Piura	PECHURA	PI994	1	20	0.1	49.7	6634	1958	28.0
850	La libertad	PARTIBBABBA	WW069	2	19	1.3	26.9	2557	746	15.0
850	Cajamarca	QUEROCOTIJJO	CA574	2	18	0.8	5.5	517	143	4.0
850	La libertad	ZAJJAPQUITA_UC	WW060	1	20	0.7	11.6	951	233	8.0
1900	Piura	CHUJUCANAP	PI903	3	20	0.0	53.9	1904	438	28.0
850	Huanuco	JJATA	HN898	2	19	0.3	10.5	981	213	6.0
1900	Ancash	CHIVOTE	AN407	1	18	0.0	116.0	2173	450	59.0
850	Junin	BAZABARI	WU699	2	20	0.0	9.0	421	86	5.0
1900	Cajamarca	JAEN	CA506	2	20	0.1	86.9	2617	533	45.4
850	Ayacucho	BOZOBABBA	AY756	3	19	0.6	9.7	859	146	6.0

En donde: Bnd es la banda en Mhz, S el sector, A=TCHfullTraf(Erlang), B=TCHhalfTraf(Erlang), C= TCHatt, D=TCHcong, y E=TCHdispo(Time Slot GSM). Los datos corresponden al 1 de julio de 2010.

Posterior al procesamiento y análisis de las de estos KPIs, se deben ejecutar trabajos en la red, debiéndose ajustar los parámetros y características definidas en la fase de planificación.

Es común que existan diferencias entre las condiciones y criterios aplicados en la fase de planificación de la red y las que luego realmente se ejecutan cuando ésta se despliega. Por otro lado, las prestaciones de la red evolucionan de acuerdo al crecimiento del número de usuarios o de la adición de nuevos servicios. Por ello la ejecución de medidas de calidad de manera periódica permite identificar rendimientos por debajo de lo esperado o susceptibles de ser mejorados.

Las áreas típicas de optimización son: la asignación de frecuencias, la definición de adyacencias o la definición de algún parámetro de red (por ejemplo la inclinación de antena tilt).

Las últimas tendencias apuntan a las soluciones de gestión basadas en la medida y monitorización de la calidad de servicio ofrecida por la red, y demandada en cada momento por los usuarios. Estas alternativas hacen uso de los KPIs mencionados anteriormente, y permiten no sólo la gestión de funciones como el control del handover o de potencia, sino también la asignación dinámica de los recursos de la red a los usuarios, en función del estado de la red.

### **1.3.2 Limitación de recursos en ampliación de capacidad de acceso de red**

Las operadoras realizan anualmente un plan para ampliar la capacidad de Acceso Radio para mantener los indicadores dentro de lo establecido.

Este plan se ejecuta conjuntamente con diferentes áreas que son responsables de administrar los recursos necesarios:

#### **a. Trasmisiones**

Las interfaces de transmisión para cada elemento de red son las siguientes:

- Estaciones Base (BTS), interfaz de transmisión 2 Mbps (G.703, tal como lo define la ITU-T), con protocolo de señalización A-bis.
- Controlador de Estaciones Base (BSC), realiza la decodificación del canal de voz comprimido (8/16 Kbps a 64 Kbps), para su interconexión hacia el centro de conmutación móvil (MSC) utilizan interfaces de 2 Mbps y protocolo estándar A.
- Centros de Conmutación (MSC) utilizan interfaces de 2 Mbps G.703 y protocolo estándar A.

Los medios de transmisión entre los diferentes elementos de red serán propios y/o de

terceros. La equivalencia practica es:  $1 \text{ E1} = 2 \text{ Mbps} = 15 \text{ TRX}$

La interconexión con los sitios remotos o lugares donde no se tiene líneas fijas o microondas se realiza vía SATELITE.

Este recurso es caro, las empresas encargadas de brindar el servicio de interconexión vía satélite tiene espectro limitado en los satélites para atender la demanda, por lo que se hace muy complicado atender ampliaciones por tráfico no planificado.

#### **b. Optimización**

Encargado de proveer el plan de frecuencias de acuerdo al Espectro disponible para GSM tanto en 800 y 1900, vecindades con otras Estaciones base operativas, asignación de canales de datos y potencia requerida para cobertura o tráfico.

Actualmente se ha reducido el espectro en 800 por el ingreso de UMTS en la misma banda, por lo que el número de frecuencias en 800 por Estación Base es  $1 \text{ EB} = 12$  frecuencias en 800. Y en 1900:  $1 \text{ EB} = 32$  frecuencias en 1900 como máximo (impactando en la calidad)

Las bandas destinadas para GSM tanto en 800 y 1900 son limitados por el gobierno para cada operadora a 25 Mhz por operadora, se realizan un rehusó de frecuencias para optimizar este recurso pero la interferencia entre celdas vecinas se hace cada vez más crítica impactando a la calidad de la red, más aun cuando esta misma banda es compartida con otras redes como son 1x y UMTS.

#### **c. Energía**

La potencia máxima nominal de los equipos en las Estaciones Base es de 45 dBm (31,6 Watt) por portadora de radio, y la potencia máxima nominal de los equipos de las estaciones móviles es de 30 dBm (1 Watt).

Para todos los casos se da estricto cumplimiento a lo estipulado en la normativa vigente en el Perú, dentro del marco normativo que regula las radiaciones No ionizantes de los servicios de telecomunicaciones el D.S. N° 038-2006 establece límites máximos para Radiación No Ionizante. Ver ANEXO C.

De las tecnologías existe de muchos fabricantes y modelos de Estaciones base con diferentes consumos de energía, las actuales son más económicas en cuanto al consumo de energía. Ejemplo de consumo de energía: Ericsson 2106 configuración máxima consume 6 Kw.

En la actualidad en el Perú está sufriendo una escasez de este recurso obligando a las concesionarias a restringir las cargas que se puede contratar.

Las Estaciones Base que requieran ampliación de capacidad por tráfico requieren ampliación de carga para lo cual solicitan a la concesionaria la respectiva ampliación teniendo plazos de meses para su resolución lo cual hace que los indicadores

sobrepasen los límites establecidos.

#### **d. Infraestructura**

Encargado de proveer la infraestructura necesaria para la puesta de la Estación Base. Dentro de estas infraestructuras están:

- Mástiles (soporte) para antenas
- Ampliación de Torre.
- Losas para equipos, según diseños establecidos.
- Escalerillas para cables.
- Sistemas de Pozo a tierra.

La adquisición de sitios urbanos es complicada por problemática social en diferentes partes del Perú, siendo los sitios para estaciones base encontrados limitados por espacio, dejando casi sin posibilidad una ampliación de red.

Para todos los casos se da estricto cumplimiento a lo estipulado en la normativa vigente como es R.M. N° 120 2005-MTC/03, R.M. N° 612-2004-MTC/03.

Los planes pueden sufrir cambios por el comportamiento del tráfico que puede elevarse inesperadamente causando bloqueo de llamas en determinadas Estaciones Base, estas se pueden ser causadas por caída de TRX (Problemas Operativos), por eventos (fiestas regionales) o por una buena campaña de ventas en la zona donde opera la Estación Base.

#### **1.3.3 Limitación en el análisis de los datos de los indicadores de la red**

Para gestionar el proyecto de ampliación de capacidad de manera eficiente, es necesaria la utilización de metodologías, estándares aceptados y complementados con herramientas informáticas de una forma adecuada, con la confiabilidad y claridad en los planes de trabajo, permitiendo llevar un control de los cambios de indicadores en la red para la toma de decisiones.

Como se trató anteriormente, la limitación de recursos que actualmente se tiene, hace imperante tener una herramienta que permita planificar y operar la disponibilidad de los recursos en base a indicadores cambiantes en la red de manera automatizada.

Las herramientas usadas actualmente están basadas en software generales como son las hojas de cálculo y otros, que por su uso en diversas tareas no son muy robustos por la fragilidad de sus cálculos. Las hojas de cálculo que realizan procesamiento avanzado necesitan un mantenimiento continuo para minimizar la pérdida de datos.

La aplicación práctica del conocimiento de ingeniería al diseño, desarrollo de programas de computadora y a la documentación asociada requerida para desarrollar, operar y mantenerlos, es de alta necesidad.

El desarrollo de herramientas informáticas complementa a los dispositivos físicos para

ofrecer la utilidad requerida por los usuarios, permitiendo explotar sus capacidades de cálculo, almacenamiento y proceso, como es el caso de toma de decisiones en ampliación de capacidad.

El uso de una herramienta para ampliación de capacidad ha de tener las siguientes características:

- Fácil de Utilizar (para mí y para mi equipo de trabajo)
- Útil (para mí y para mi equipo de trabajo)
- Barata (en dinero y en tiempo)



## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión del sistema descrito en el capítulo 3 y 4. Los tópicos desarrollados son: Arquitectura de red en GSM, Capa física en GSM, Planificación de capacidad.

### 2.1 Arquitectura de red en GSM

La arquitectura de una red GSM se compone, principalmente, de tres bloques (Figura 2.1):

- La estación móvil, MS (Mobile Station).
- El subsistema de Estación Base, BSS (Base Station Subsystem).
- El subsistema de conmutación de red, NSS (Network Station Subsystem).

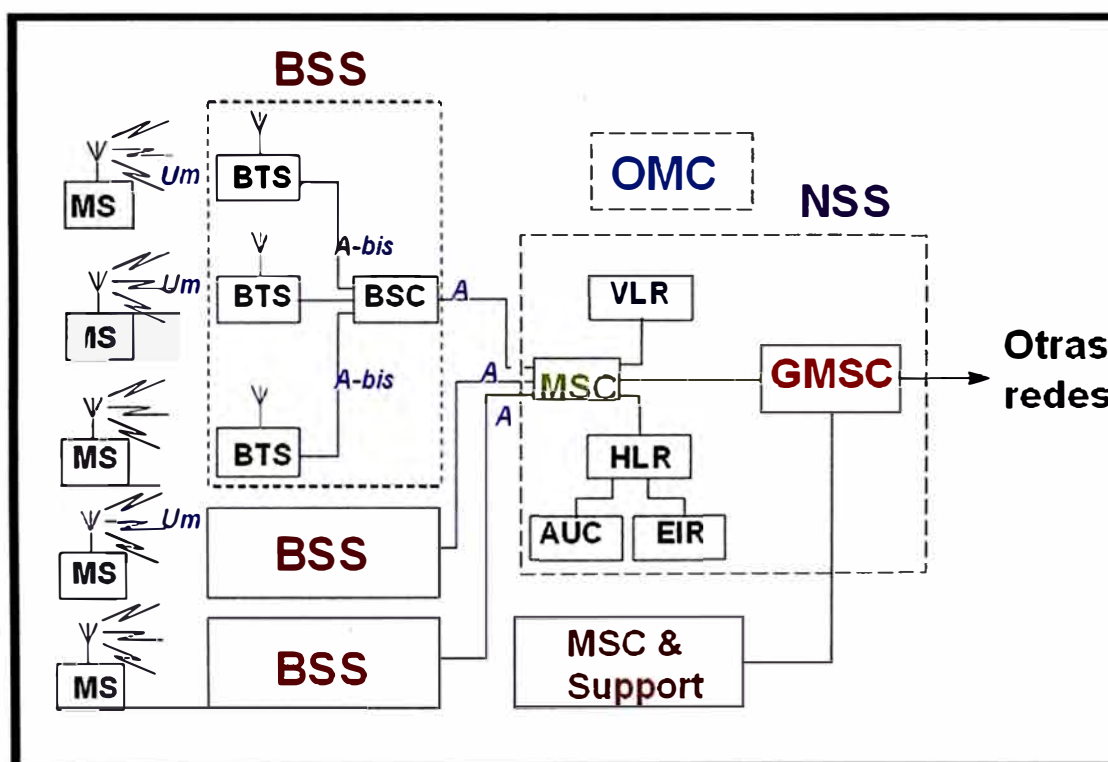


Figura 2.1 Arquitectura de red GSM. (Fuente: Elaboración propia)

#### 2.1.1 La estación móvil

La Estación Móvil (MS), está formada por la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) y por el Equipamiento Móvil, ME (Mobile Equipment), que es el terminal GSM en sí.

##### a. Tarjeta SIM

La tarjeta SIM es una pequeña tarjeta que posee una memoria y un microprocesador,

permitiendo identificar al cliente, independientemente del terminal que se esté usando.

La principal tarea de la tarjeta SIM es almacenar datos. No sólo guarda información del usuario, sino también otros datos necesarios para el funcionamiento del equipo como puede ser el IMSI (Internacional Mobile Subscriber Identity), que se emplea para identificar al abonado en cualquier red GSM.

Otros datos importantes que son guardados en la SIM son el código PIN (Personal Identification Number), que es requerido cada vez que el usuario enciende el teléfono y el código PUK (Personal Unblocking Key), que es necesario introducir cuando la SIM ha quedado bloqueada tras introducir tres veces el número PIN incorrectamente; los procedimientos de criptografía que garantizan la confidencialidad de la información del usuario; y otros datos como por ejemplo la memoria de la agenda telefónica del usuario o memorias para los mensajes de texto (SMS).

### **b. Equipamiento Móvil**

El Equipamiento Móvil es el equipo GSM en sí. Es identificable unívocamente en cualquier red GSM mediante un código internacional, el IMEI (Internacional Mobile Equipment Identity).

La manera más común de identificar los equipamientos móviles GSM es según la potencia máxima transmitida. Según este parámetro se establecen cinco clases según se observa la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Clases de equipamientos de usuario según la potencia máxima de salida

Clase	Potencia máxima (W)
1	20
2	8
3	5
4	2
5	0.8

Cuando se implantó GSM, la clase más potente era la clase 1 con 20W de potencia de salida. Actualmente no se producen equipos con esta potencia de salida y ahora la más potente es la clase 2 con 8W.

Las recomendaciones de GSM establecen qué funcionalidades son obligatorias y cuales son opcionales en los terminales. Entre las características obligatorias se encuentran la capacidad para soportar el servicio de mensajes cortos (SMS), el soporte de algoritmos de cifrado, soporte de llamadas de emergencia, incluso si la SIM no está insertada y características de visualización para los números marcados, los SMS, y la red PLMN (Public Land Mobile Network) disponible.

#### **2.1.2 El subsistema de estación base**

El Subsistema de Estación Base, Base Station Subsystem (BSS), es el que controla la interfaz radio. Se compone de una o más BTS (Base Transceiver Station) y por una

BSC (Base Station Controller), según se observa en la figura 2.1. El MS se comunica vía aire con el BSS a través de la interfaz Um, mientras que la BTS y el BSC se comunican por la interfaz estandarizada tipo A-bis, con la finalidad de permitir operaciones entre equipos de distintos fabricantes.

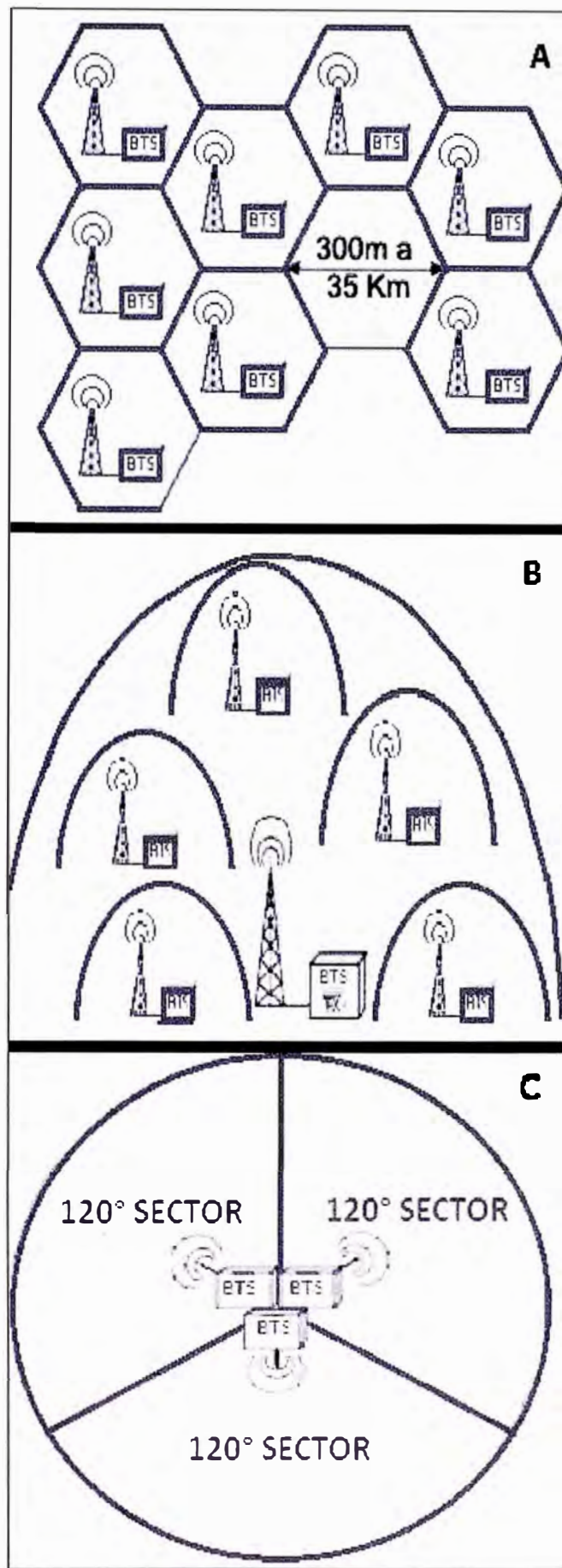
#### a. Base Transceiver Station

El BSS o Estación Base es el elemento que proporciona la conexión física entre el terminal (MS) y la red GSM, a través de la interfaz radio. Aloja todos los receptores y transmisores que sirven una celda y que están disponibles para recibir y enviar información al canal radio. El BTS ejerce, entre otras, las siguientes funciones:

- Capacidad de gestionar canales Full Rate (16 kbps) y Half Rate (8 kbps).
- Gestión de la Diversidad de Antena, esto es, la utilización de dos antenas de recepción para mejorar la calidad de la señal recibida ya que aunque una se encuentre afectada por algún tipo de desvanecimiento, la otra posibilidad de que la otra se encuentre afectada es muy pequeña.
- Supervisión de la Relación de Onda Estacionaria en la antena.
- Cambio de la frecuencia usada en un canal radio a intervalos irregulares, con el fin de mejorar la calidad de servicio a través de las distintas frecuencias. Esta función se denomina como Frequency Hopping.
- Control Dinámico de Potencia del MS y la BTS: el BSC determina la potencia óptima con la que el MS y la BTS deben transmitir sobre el canal radio para mejorar la eficiencia espectral.
- Gestión de los algoritmos de clave: la información de los usuarios se encripta para garantizar al cliente discreción sobre el canal de tráfico y el de señalización. El proceso de criptografía de los datos debe ser realizado por la BTS sobre las informaciones transmitidas al canal radio. El algoritmo de criptografía que debe usarse lo comunica la BSC a la BTS en base a las indicaciones recibidas por la MSC (elemento que se detallará más en el apartado 2.1.3 de este capítulo) y la clave es única para cada usuario.
- Monitorización de la conexión radio realizando medidas significativas sobre señales de RF, las cuales son enviadas luego a la BSC con el fin de asegurar un elevado nivel de calidad de conversación.

Existen tres configuraciones principales para las Estaciones Base, según se muestra en la siguiente Figura 2.2.

La configuración estándar (Figura 2.2 a) es la más habitual. Cada BTS posee una identidad de celda única y un número determinado de BTS forman un área de localización (en la Figura 2.2 se muestra con cinco, tres y una BTS). Sin embargo, esta implementación no es muy apropiada para zonas urbanas con densidad de tráfico.



**Figura 2.2.** Configuraciones BTS: a) estándar, b) "paraguas", c) sectorizada (Fuente: ibid)

La configuración en “paraguas” (Figura 2.2 b) consiste en una BTS de una alta potencia de transmisión que sirve de “paraguas” para un número de BTS con una baja potencia de transmisión y de un pequeño diámetro. Esta configuración, aunque parezca no tener mucho sentido, es muy útil, por ejemplo, en casos de usuarios que circulan en vehículos a alta velocidad por lo que está continuamente haciendo handover. Con esta configuración se consigue que no se degrade tanto la calidad de la señal.

Por último, en la configuración sectorizada (Figura 2.2 c) las BTS se colocan en un mismo lugar pero sus antenas cubren sólo un área de 120 o 180 grados. Esta configuración se suele implementar con transmisores de baja potencia y se suele emplear para áreas muy pobladas (Tráfico denso). Una de las ventajas de esta configuración es que permite un patrón de reutilización de frecuencias menor.

### **b. Controlador de Estación Base**

El Controlador de Estación Base, BSC, controla los recursos radio para una o más BTS, monitorizando la conexión entre las Estaciones Base y las MSC por medio de la interfaces A y A-bis, como se muestra en la figura 2.1. Además gestiona los canales radio, la señal, el frequency hopping y los handover.

En particular realiza funciones como:

Gestión y configuración del canal radio: para cada llamada elige la celda correcta y una vez seleccionada ésta, selecciona el canal radio más apto para efectuar la conexión.

Gestión del handover: en función de las medidas recibidas por la Estación Base, decide cuándo realizar el handover, es decir, el cambio de celda cuando el usuario se desplaza durante la conversación dentro del área de cobertura de su competencia.

Funciones de transcodificación de los canales radio Full Rate (16 kbps) y Half Rate (8 kbps) en canales a 64 kbps.

### **2.1.3 El subsistema de conmutación de red**

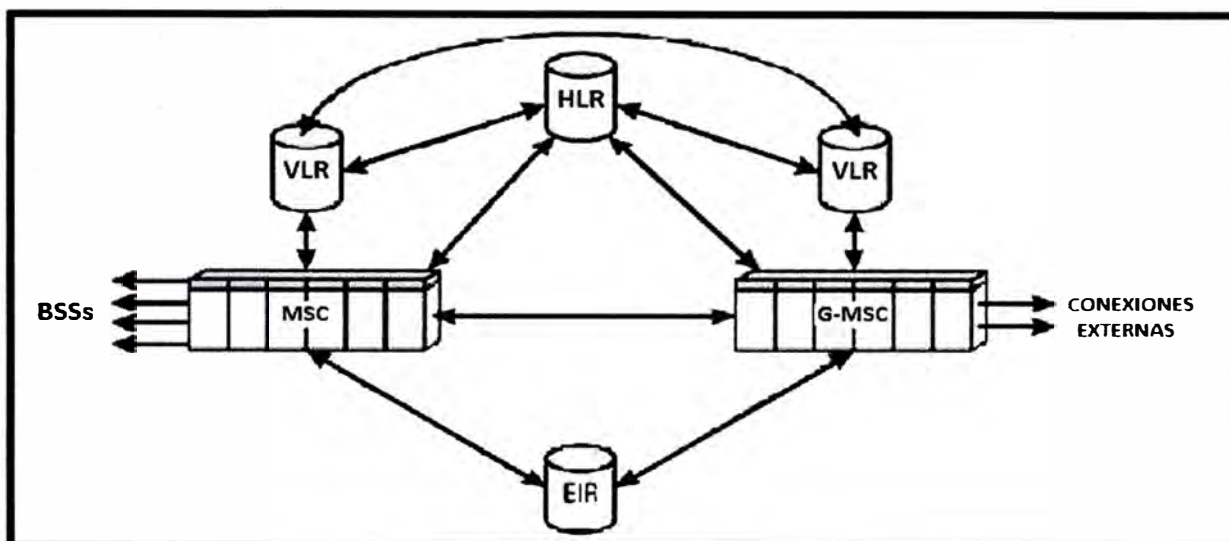
El subsistema de conmutación de red, Network Switching Subsystem (NSS), juega el papel central de la red móvil. Se comunica con el Base Station Subsystem por medio de la interfaz estandarizada A. El NSS realiza todas las funciones de control y de base de datos requeridas para la identificación de los terminales, la actualización de su posición, la autenticación, la encriptación y la conducción de las llamadas de un usuario en roaming.

Para realizar todas estas funciones, se sirve de los siguientes elementos que se detallan a continuación.

- MSC (Mobile Switching Center), Centro Móvil de Conmutación.
- GMSC (Gateway MSC).
- HLR (Home Location Register), Registro de Localización Local.

- VLR (Visitor Location Register), Registro de Localización de Visitantes.
- AUC (AUthentication Center), Centro de Autenticación.
- EIR (Equipment Identity Register), Registro de Identificación de Equipo.
- OMC (Operation And Maintenance Center), Centro de Operación y Mantenimiento.

La topología de red del NSS es más flexible que la estructura anteriormente descrita para el BSS. Varias MSC pueden, por ejemplo, usar un VLR común. Por otro lado, el uso de un EIR es opcional. En la Figura 2.3 se observa una posible disposición de los elementos del NSS.



**Figura 2.3** Posible distribución de los elementos del NSS. (Fuente: Elaboración Propia)

#### a. Centro de Conmutación de Servicios Móvil

El Centro de Conmutación de Servicios Móvil (SMC) es el elemento central del NSS. Se ocupa, basándose en las informaciones recibidas desde el NLR y desde el VLR, de la conducción (routing) y gestión de la señal de todas las llamadas directas y provenientes desde varios tipos de redes. Implementa además las funciones de gateway con los otros componentes del sistema y de gestión de los procesos de handover, conmutando las llamadas en curso entre BSC diferentes o hacia otro MSC.

Otras funciones fundamentales de los MSC se describen a continuación:

- Autenticación de la MS que ha efectuado la llamada, que es necesaria para determinar si el usuario está habilitado para utilizar el servicio.
- Confidencialidad acerca de la identidad del usuario. Para garantizar la confidencialidad acerca de la identidad de un usuario en el canal radio, aun estando ya todas las informaciones encriptados, el sistema no transmite nunca el IMSI asignado cuando el usuario suscribe el abono; sin embargo se le asigna el Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), que se asigna en el momento de la llamada y tiene un significado temporal: crear la correspondencia entre TMSI e IMSI. Esta tarea corresponde al MSC y cuando el móvil cambia a un área de localización controlada por otro MSC, se le tiene

que asignar un nuevo TMSI.

- Proceso de handover: en la red GSM un usuario puede continuar utilizando el servicio aunque atraviese durante la conversación los límites de la celda en la que se encuentra.

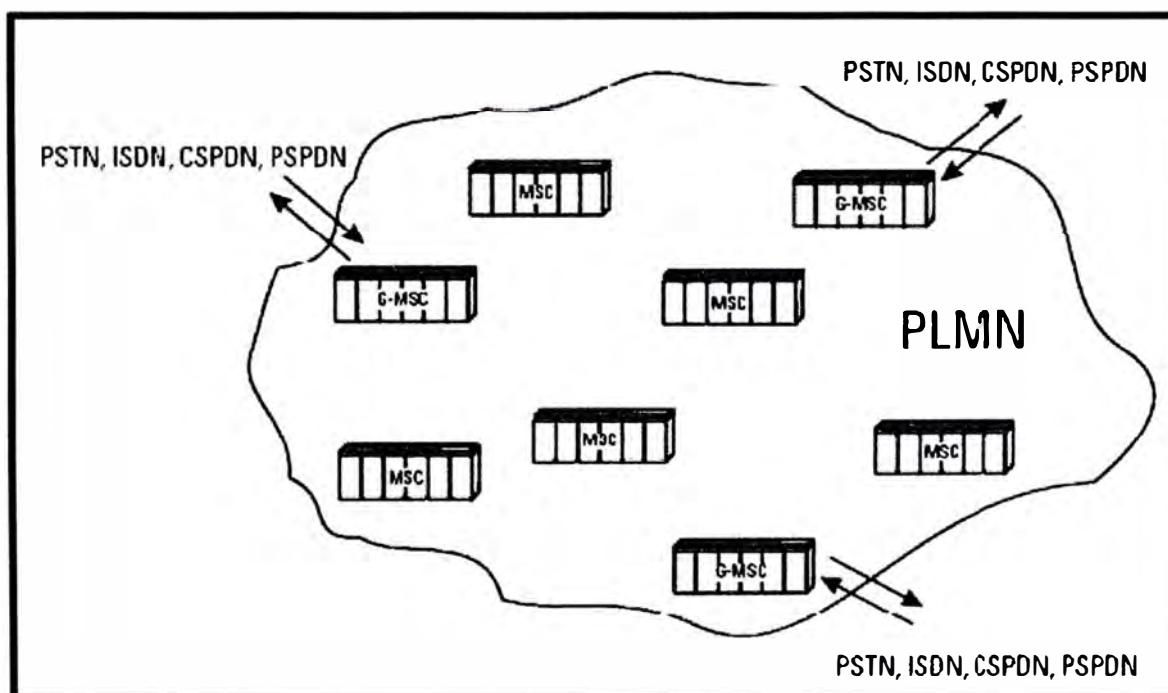
Existen dos situaciones de handover:

- La estación móvil se traslada a una celda controlada por el mismo MSC que hasta ese momento controlaba su conexión. En este caso, el handover es gestionado por el mismo MSC.

- La celda a la que se traslada la estación móvil está controlada por otro MSC. En este caso el proceso de handover es controlado desde dos MSC basándose en las medidas de la señal recibida por la MS, monitorizadas por la BTS.

### b. Gateway MSC

El G-MSC es una interfaz con otras redes tal y como se muestra en la figura 2.4. Puede verse como una funcionalidad opcional y añadida a las que ya posee el MSC. Existe la posibilidad tanto de incorporar a la red todos los MSCs con funcionalidades gateway incluido o sólo unos pocos. Cualquier MSC que no posea funcionalidades de gateway ha de encaminar las llamadas a redes externas a través del G-MSC.



**Figura 2.4** Gateway MSC en la Red Pública Móvil (PLMN). (Fuente: Elaboración Propia)

El Gateway Mobile Switching Center se encarga, además, de tareas adicionales durante el establecimiento de una llamada móvil terminada en la red, que se originó en una red externa. La llamada ha de entrar a la PLMN a través del G-MSC, el cual con la información del HLR envía la información al MSC, que gestionará la llamada.

### c. Home Location Register

El Home Location Register es una gran base de datos en donde se almacena que es

específica de cada cliente. Contiene detalles, como por ejemplo, de los servicios a los que puede acceder e información relacionada con la localización del abonado, tal como detalles sobre el área del MSC dentro de la cual el abonado está actualmente registrado. Cualquier cliente de GSM posee una entrada en el HLR de la red en la que habitualmente se encuentre.

Cuando un usuario se abona a la red GSM, todas las informaciones para su identificación se memorizan en la HLR. El HLR puede ser único para toda la red GSM o bien puede estar distribuido en el sistema. Cuando existen más HLR, a cada uno de ellos se les asigna un área de numeración, es decir, un conjunto de Mobile Station ISDN Number (MSISDN).

Esta base de datos almacena todos los datos relativos a los abonados y en particular:

- La International Mobile subscriber Identity (IMSI), que es la información que identifica al abonado dentro de una cualquiera de la red GSM y que está contenido también en el interior de la SIM.
- El Mobile Station ISDN Number (MSISDN).
- Los tipos de servicio suscritos por el abonado a los cuales tiene derecho a acceder (voz, servicio datos, SMS, eventuales bloqueos para llamadas internacionales, otros servicios auxiliares).
- Posición corriente del MS, es decir la dirección del VLR en la que está registrada.
- El estado de eventuales servicios auxiliares.

Para reducir la carga del HLR, se introduce el VLR (Visitor Location Register), que se describirá más adelante, para apoyar al HLR gestionando la mayoría de los requerimientos del abonado.

#### **d. Visitor Location Register**

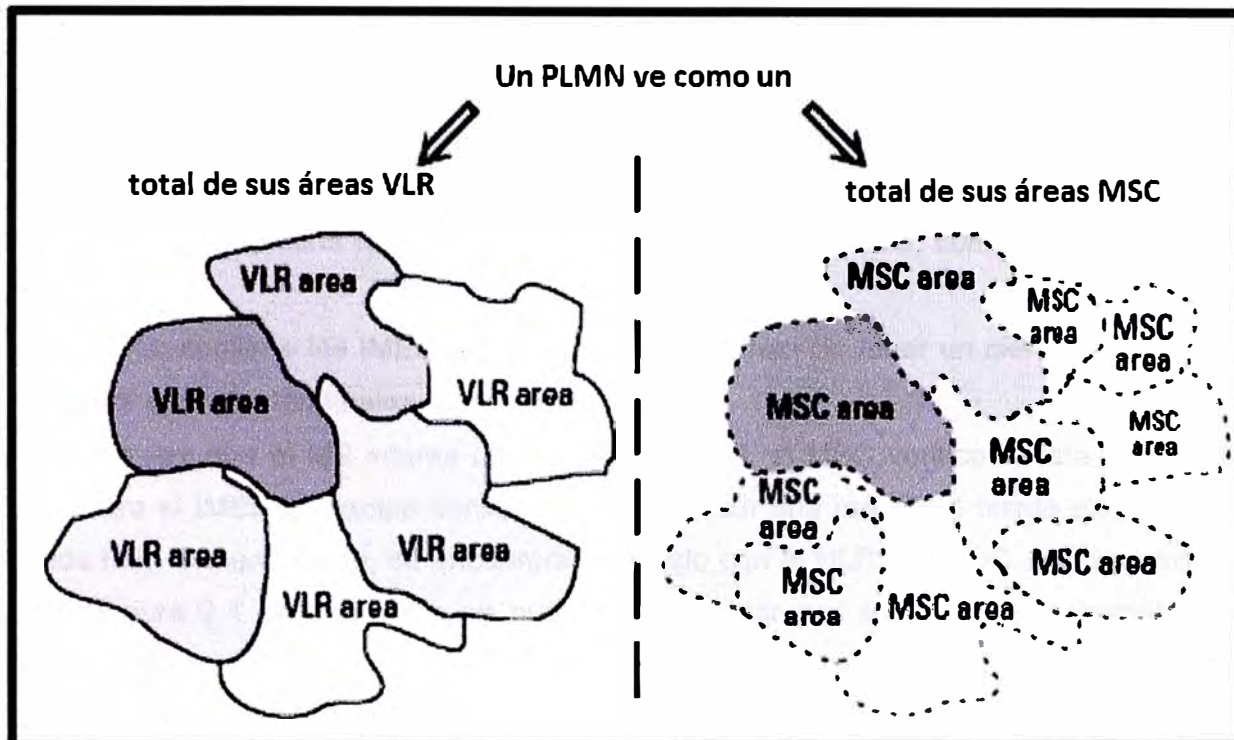
El Visitor Location Register es una base de datos que memoriza temporalmente los datos de todos los abonados que se encuentran en el área geográfica que él controla. Los datos del abonado se piden al HLR del que el abonado depende. En general, los fabricantes implementan el VLR y el MSC juntos, de modo que el área geográfica controlada por el MSC corresponde a la controlada por el VLR. Como se muestra en la Figura 2.5, varios MSC pueden depender de un mismo VLR.

Entre las informaciones que almacena se encuentran:

- El Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), que de detallará más adelante, usado para garantizar la seguridad del IMSI, se asigna cada vez que se cambia de área de localización.
- Estado de la MS: en espera, ocupado o apagado.
- Estado de los servicios suplementarios como llamada en espera, llamada en grupo, etc.



- Tipos de servicios a los que se permite acceder al abonado: voz, datos, SMS, y otros servicios auxiliares.
- El área de localización en la que se encuentra la estación móvil (MS) dentro de aquellas que controla el MSC-VLR.



**Figura 2.5** Gateway MSC en la Red Pública Móvil (PLMN). (Fuente: Ibidem)

#### e. Centro de Autenticación

El Centro de Autenticación, AuC, se comunica únicamente con el HLR por lo que puede ser visto como una parte integral de éste. Se encarga de verificar si el servicio ha sido solicitado por un abonado legítimo proporcionando tanto los códigos para la autenticación como la clave y protegiendo tanto al abonado como al operador de red, de intrusiones del sistema por parte de terceros.

El mecanismo de autenticación verifica la legitimidad de la SIM sin transmitir sobre el canal radio las informaciones personales del abonado, a fin de verificar que el abonado que está intentando el acceso sea verdadero. La clave sin embargo genera algunos códigos secretos que se usarán para encriptar toda la comunicación cambiada por error sobre el canal radio. Los códigos de autenticación y clave están generados casualmente por cada abonado en particular por algunos algoritmos definidos por el estándar GSM y que son memorizados en el AuC y en la propia SIM.

La autenticación se produce cada vez que la MS se conecta a la red y más concretamente en los siguientes casos:

- Cada vez que la MS recibe o efectúa una llamada.
- Cada vez que se efectúa la actualización de la posición de la MS.

- Cada vez que se solicita la activación, desactivación o información sobre los servicios suplementarios.

#### **f. Registro de Identidad de Usuario**

El Registro de Identidad de Usuario, EIR, es una base de datos encargada de verificar si un equipo móvil, ME, está autorizado o no para acceder al sistema. Está formado por tres partes:

- Lista blanca: contiene los números IMEI de los números de todos los operadores de las varias naciones con las que se tiene acuerdo de roaming internacional.
- Lista negra: almacena los IMEI que se consideran bloqueados, como por ejemplo, los robados.
- Lista gris: contiene los IMEI que son aquellos que han de tener un cierto seguimiento, como por ejemplo, terminales no homologados.

Cada vez que el MS intenta conectarse a la red, el MSC verifica la lista en que se encuentra el IMEI del equipo consultando al EIR. En una red GSM puede existir uno o varios EIR. Generalmente, se encuentra integrado con el HLR y el AUC como se mostró en la Figura 2.1 pero también se puede implementar por separado para aumentar la seguridad.

#### **g. Centro de Operación y Mantenimiento**

El Centro de Operación y Mantenimiento, OMC, es un elemento que aunque en la Figura 2.1 se encuentra fuera del Network Switching Subsystem, se puede encuadrar tanto dentro como fuera de éste. Existe uno o dos por red y se encarga de agrupar las siguientes funcionalidades:

- Acceso remoto a todos los elementos de la red GSM.
- Gestión de las alarmas y del estado del sistema con posibilidad de efectuar varios tipos de test para analizar las prestaciones y verificar el correcto funcionamiento del mismo.
- Control de la carga de tráfico del BSC y BTS.
- Recopilación de todos los datos relativos al tráfico de los abonados necesarios para la facturación.
- Supervisión del flujo de tráfico a través de las centrales e introducción de eventuales cambiantes del flujo mismo.
- Visualización de la configuración de la red con posibilidad de cambiarla por control remoto.
- Administración de los abonados y posibilidad de poder conocer su posición dentro del área de cobertura.

### **2.2 Capa física en GSM**

Esta sección se divide en la canalización (Bandas de frecuencias) y la interfaz de

en GSM. Estos tópicos son desarrollados a continuación.

### 2.2.1 Bandas de frecuencias: Canalización

En radiotelefonía móvil los enlaces radio son dúplex y en general, emplean dos frecuencias portadoras distintas, una para el enlace móvil-base o enlace ascendente, UL (Uplink), y otra para el enlace base-móvil o enlace descendente, DL (Downlink). Esta pareja de frecuencias suele llamarse radiocanal. A esta modalidad de explotación se le denomina dúplex por división de frecuencia, FDD (Frequency Division Duplex). Los radiocanales se asignan a partir de una banda de frecuencias, constituida por dos sub-bandas, con una separación determinada, como se muestra en la Figura 2.6.

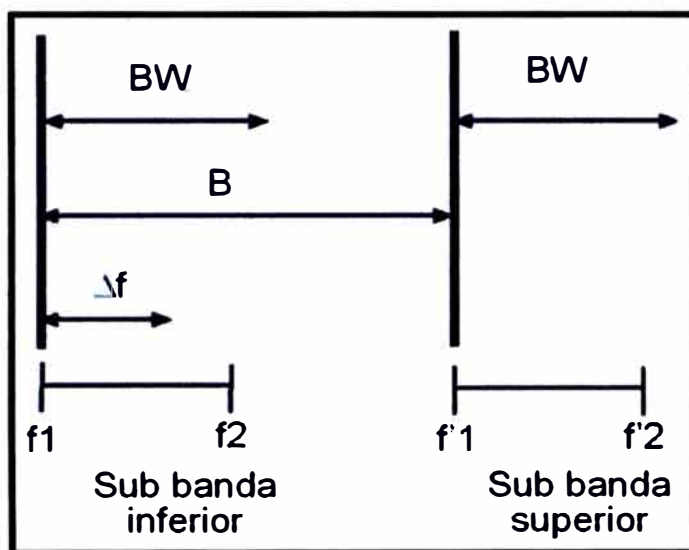


Figura 2.6 Radiocanal.

Los parámetros de la banda son:

- Límites de las sub-bandas:  $(f_1, f_2)$ ;  $(f'_1, f'_2)$ .
- Anchura de las sub-bandas:  $BW$ .
- Separación entre frecuencias homólogas:  $B$ .
- Paso de canalización:  $\Delta f$ .

El número teórico de radiocanales (de dos frecuencias) disponibles es:

$$N = \frac{BW}{\Delta f} \quad (2.1)$$

Para la explotación del sistema GSM se reservó una banda de frecuencias, en Perú son los siguientes valores:

- En 850: 824-849 MHz; En 1900: 1850-1910 MHz, de MS a BTS (UL).
- En 850: 869-894 MHz; En 1900: 1930-1990 MHz, de BTS a MS (DL).

Con una separación de canales  $\Delta f = 200$  KHz. A esta banda se le denomina banda GSM primaria.

Para facilitar el uso de frecuencias compartidas con servicios de Radiocomunicaciones que utilicen bandas de frecuencias adyacentes se han previsto dos

bandas de guarda entre los extremos de las sub-bandas anteriores y las portadoras primera y última. Esto es, en la subbanda inferior, por ejemplo, la primera y última portadoras asignables son 890.2 MHz y 914.8 MHz, respectivamente. Resultan de esta forma, 124 radiocanales disponibles.

Cada radiocanal se designa mediante un número entero denominado número absoluto de canal RF, ARFCN (Absolute Radiofrequency Channel Number).

La diferencia entre una frecuencia y su homóloga es igual a 45 MHz, la expresión de las frecuencias centrales de los radiocanales en función del ARFCN en la banda GSM900 es:

$$\begin{aligned} FI(n) &= 890 + 0.2 \cdot n \\ Fu(n) &= FI(n) + 45 \quad 1 \leq n \leq 124 \end{aligned} \quad (2.2)$$

En posteriores especificaciones se definió una segunda banda de frecuencias en 1800 MHz. En este caso, el UL ocupa la subbanda de 1710–1785 MHz, y el DL la subbanda de 1805-1880 MHz. Al sistema que utiliza estas bandas de frecuencias se le denomina GSM1800, y la única diferencia entre GSM900 y GSM1800 la constituye precisamente esta diferente ubicación espectral. Todo lo referente a canalización, estructura de la trama TDMA, modulación y protocolos de señalización, se mantiene exactamente igual para ambos sistemas. Esto, permite la compatibilidad total entre ellos, de forma totalmente transparente para el usuario y casi transparente para la red.

La banda disponible tanto para GSM900 como para GSM1800 está dividida en intervalos de frecuencias siguiendo la filosofía FDMA. Cada uno de estos intervalos tiene una anchura de banda de 200 kHz, de forma que hay 124 y 372 canales disponibles para GSM900 y GSM1800 respectivamente.

La modulación empleada genera señales de ancho de banda ligeramente mayor que 200 kHz, lo que provoca cierta interferencia de canal adyacente. Esto, unido al hecho de que, generalmente, los receptores empleados tanto en las estaciones base como en los terminales móviles no son capaces de eliminar totalmente la señal existente en el canal adyacente, hace que sea conveniente dejar un canal de guarda entre las bandas asignadas a los distintos operadores, para evitar así problemas de interferencias entre distintas redes.

### 2.2.2 Interfaz radio en GSM

En este apartado se detalla, la organización de la interfaz radio de GSM: tipo y formato de señales y correspondencia entre los canales lógicos y los canales físicos constituidos por esas señales.

Toda la interfaz radio se enmarca dentro de la estructura del multiacceso TDMA, que es de tipo jerárquico, con una organización que va desde el intervalo de tiempo (TS) a la

hipertrama, pasando por las tramas, multitramas y supertramas. Debe recordarse que la ráfaga es una secuencia de bits enviados en un intervalo de tiempo.

### a. Tipos y formatos de ráfagas

Un TS está dividido en 156.25 periodos de bit. Un bit concreto dentro del TS se referencia a través de un número de bit, BN (Bit Number), numerándose éstos desde el 0 hasta el 156. Dado que un TS dura 0.577 ms, la velocidad de transmisión en la interfaz radio será de 270.833 kbits/s.

Una característica de las ráfagas es su duración útil. Hay cuatro tipos de ráfagas completas de 147 bits de duración útil: ráfagas de corrección de frecuencia, FB (Frequency correction Burst); ráfagas de sincronización, SB (Synchronization Burst) y ráfaga normal, NB (Normal Burst); y una ráfaga corta de acceso, AB (Access Burst) de 87 bits de duración útil.

Las ráfagas están constituidas por un núcleo formado por bits de información y la secuencia de entrenamiento, rodeado de bits de cola. El período comprendido entre dos ráfagas que aparecen en TS consecutivos de una trama se denomina período de guarda. Este período es necesario ya que el móvil no es capaz de incrementar y decrementar su potencia de salida de forma instantánea.

#### a.1 Ráfagas de Acceso

Son las ráfagas empleadas por el móvil para acceder a una estación base cuando demanda un canal de la misma. En consecuencia, se transmiten únicamente en el enlace ascendente, UL. La secuencia de entrenamiento y la secuencia de cola inicial son más largas que en una ráfaga normal, para aumentar la probabilidad de éxito de la demodulación.

La estación base utiliza el momento de recepción de la ráfaga de acceso para determinar la distancia a que se encuentra el móvil cuando intenta acceder a ella.

A continuación (Figura 2.9) se representa la estructura de las ráfagas de acceso.



**Figura 2.9 Ráfagas de Acceso**

0....7	Bits de cola extendidos (8)
8....48	Secuencia de sincronización (41)
49....84	Bits de información cifrados (36)
85....87	Bits de cola (3)
88....156, 25	Bits del período de guarda extendido (68,25)

#### a.2 Ráfagas de Corrección de Frecuencia

Estas ráfagas únicamente se utilizan en el enlace descendente, DL. A través de estas ráfagas el móvil realiza un ajuste de la frecuencia de sintonía.

Es la ráfaga más simple de todas. Sus 148 bits toman el valor "0".

### a.3 Ráfagas de Sincronización

Estas ráfagas, utilizadas únicamente en el enlace descendente, tienen por finalidad posibilitar la sincronización del reloj de la estación móvil con el de la estación base y determinar la situación dentro de la trama temporal. De esta forma puede iniciarse el proceso de demodulación de la información transmitida en el enlace descendente. Por ello, la duración de la secuencia de entrenamiento es mayor que en las ráfagas normales. La secuencia de entrenamiento empleada en este tipo de ráfagas es única, ya que de otro modo el móvil no sería capaz de conocer a priori cuál es la que se está utilizando.

La estructura de estas ráfagas se muestra en la Figura 2.10.

<b>TB (3)</b>	<b>Información (39)</b>	<b>Training sequence (64)</b>	<b>Información (39)</b>	<b>TB 3</b>	<b>GP (8,25)</b>
-------------------	-----------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	-----------------	----------------------

**Figura 2.10** Ráfaga de Sincronización

0...2	Bits de cola (3)
3...41	Bits de información cifrados (39)
42...105	Secuencia de entrenamiento extendida (64)
106...144	Bits de información cifrados (39)
145...147	Bits de cola (3)
148...156, 25	Período de guarda (8,25)

### a.4 Ráfagas de Relleno

Son las ráfagas que se radian cuando no hay información que transmitir. Constituyen la señal "piloto" que los móviles necesitan estar recibiendo constantemente para poder hacer medidas de potencia. El formato de esta ráfaga se muestra en la Figura 2.11.

<b>TB (3)</b>	<b>Mixed bits (142)</b>	<b>TB (3)</b>	<b>GP (8,25)</b>
-------------------	-----------------------------	-------------------	----------------------

**Figura 2.11** Ráfagas de Relleno

0...2	Bits de cola (3)
3...144	Bits mezclados (142)
145...147	Bits de cola (3)
148...156,25	Período de guarda (8,25)

### a.5 Ráfagas Normales

Estas ráfagas se utilizan tanto en el UL como en el DL. Llevan información de tráfico o canales de control. Su estructura básica es la siguiente: unos bits que componen la secuencia de entrenamiento del ecualizador situados en el centro de la ráfaga, dos campos de bits de información situados a sendos lados de la secuencia de entrenamiento y los bits de cola.

En las ráfagas normales hay ocho posibles secuencias de entrenamiento,

identificadas a través del código de la secuencia de entrenamiento, TSC (Training Sequence Code). El que haya más de una hace posible disponer de una cierta protección frente a interferencias. La Figura 2.12 muestra la estructura de las ráfagas normales.

<b>TB</b> (3)	<b>Información</b> (58)	<b>Training sequence</b> (26)	<b>Información</b> (58)	<b>TB</b> (3)	<b>GP</b> (8,25)
------------------	----------------------------	----------------------------------	----------------------------	------------------	---------------------

**Figura 2.12 Ráfagas Normales**

0....2	Bits de cola (3)
3....60	Bits de información cifrados (38)
61.....86	Secuencia de entrenamiento extendida (26)
87....144	Bits de información cifrados (58)
145....147	Bits de cola (3)
148....156, 25	Período de guarda (8,25)

### **b. Correspondencia canales lógicos- canales físicos**

En esta sección se describe los canales lógicos existentes, su aplicación y los recursos y tipos de ráfagas que se utilizan para plasmarlos en los canales físicos. Los canales lógicos se clasifican en dos grandes grupos: canales comunes y canales dedicados.

#### **b.1 Canales Comunes**

Los canales comunes son aquellos, que transmiten información de señalización común a todos los móviles que se encuentran “acampados” en una celda dada. Son canales punto-multipunto.

A continuación se describe la aplicación de cada canal lógico y la constitución del canal físico asociado:

- **FCCH (Frequency Correction CHannel) y SCH (Synchronization CHannel).**- Son los canales de adquisición de frecuencia y de sincronización temporal. En el SCH se transmiten los parámetros a partir de los que pueden calcularse los números BN, QN, TN y FN que permiten identificar la posición dentro de la trama temporal y el BSIC (Base transceiver Station Identify Code) asignado a esta celda. Tanto el FCCH como el SCH son canales lógicos unidireccionales (DL) transmitidos por la estación base y utilizan los formatos de ráfagas FB y SB, respectivamente. El móvil determina el TN del resto de los TSs de la celda a partir de su posición relativa a la del TS en que se ha recibido el SCH (TN=0). La estructura temporal del conjunto FCCH/SCH es siempre la misma: se transmiten en tramas consecutivas (en la primera el FCCH y en la siguiente el SCH).

- **BCCH (Broadcast Control CHannel), PCH (Paging CHannel) y AGCH (Access Grant CHannel).**- Son canales unidireccionales, de difusión (Broadcast Control CHannel), y de búsqueda/conexión de acceso de móviles (Paging CHannel y Access

Grant Channel). Utilizan ráfagas normales y se transmiten en el DL. El BCCH lleva la siguiente información: identificación de la celda, del área de localización, organización de los CCCH, organización de los bloques destinados a PAGCH y de los grupos de búsqueda y parámetros que determinan el comportamiento de los móviles cuando se hallan en modo desocupado. Las funciones que se realizan a través de los canales PCH y AGCH son: a) Realizar las búsquedas para localizar móviles que tienen llamadas entrantes, PCH (Paging Channel); b) Conceder el acceso a la red de los móviles que quieren iniciar llamadas o demandar cualquier servicio de la red, AGCH (Access Grant Channel).

- **NCH (Notification Channel)**.-Es el canal de notificación, que únicamente se emplea para comunicar a todos los móviles de la red la llegada de llamadas correspondientes a mensajes de difusión de voz, o notificar a móviles pertenecientes a un grupo cerrado la llegada de llamadas correspondientes a mensajes de voz para los componentes de dicho grupo. Es otro canal común CCCH unidireccional transmitido en el DL, y comparte con el resto de los canales comunes DL (PCH y AGCH) la misma correspondencia física.

- **RACH (Random Access Channel)**.- Es el canal lógico empleado por los móviles cuando necesitan acceder a la red. Es por tanto un canal unidireccional, transmitido en el UL. Se considera canal común ya que todos los RACH enviados por los móviles comparten el mismo canal físico. Utiliza ráfagas cortas de acceso, en el TN 0 de la portadora del BCCH. Es posible, al igual que ocurre con el resto de los CCCH, que se utilicen otros TN además de este.

- **CBCH (Cell Broadcast Channel)**.- Es un canal DL utilizado para transportar el servicio de difusión de mensajes cortos (SMSCB).

## **b.2 Canales Dedicados**

Los canales lógicos dedicados son aquellos que transmiten información correspondiente a una conexión establecida entre un móvil concreto y la red. Son, por tanto, canales punto a punto. Pueden clasificarse en función del tipo de información que se transmite: voz/datos o señalización asociada a esa conexión.

A continuación se describen estos canales lógicos bidireccionales dedicados y su correspondencia con los canales físicos.

- **TCH/F (Traffic Channel Full Rate), TCH/H (Traffic Channel Half Rate)**.- Son los canales lógicos de tráfico, a través de los cuales se transmite la información: voz/datos. En ambos casos se utilizan ráfagas normales. Son canales bidireccionales, que utilizan el mismo TN tanto en la portadora del DL como en la del UL. Pueden ocupar cualquier TN en cualquier portadora, salvo el TN=0 de la portadora BCCH, que se reserva para canales comunes de señalización. Hay dos clases de canales de tráfico: de velocidad



total (TCH/F) y de velocidad mitad (TCH/H), que se diferencian en la periodicidad del canal. El TCH/F ocupa un TS por trama, mientras que el TCH/H ocupa en promedio un TS de cada dos tramas. Esta diferencia en la periodicidad determina la diferencia en la velocidad de transmisión de cada uno de los canales: TCH/F 22.8 kbits/s; TCH/H 11.4 kbits/s.

- **SACCH/TF (Slow Associated Control CHannel/Traffic channel Full rate), SACCH/TH (Slow Associated Control CHannel/Traffic channel Half rate).**- Es el canal de señalización "lento" asociado al canal tráfico. En este canal se transmite aquella información asociada a la conexión necesaria para la gestión de la movilidad y de los recursos radio: medidas de nivel y calidad del DL de la celda a la que está enganchado el móvil, medidas de nivel de las celdas vecinas y los parámetros relativos a funcionalidades empleadas por el operador. La estructura física de este canal lógico es idéntica a la del canal de tráfico al que va asociado: ráfagas normales, canales bidireccionales, ocupando cualquier TN de cualquiera de las dos portadoras empleadas por la estación base.

- **FACCH/F (Fast Associated Control CHannel Full rate), FACCH/H (Fast Associated Control CHannel Half rate).**- Es el canal de señalización rápido asociado al canal de tráfico de velocidad total o mitad, respectivamente. Se utiliza para transmitir señalización que no puede esperar a que llegue el SACCH correspondiente, como por ejemplo la gestión de trasposos. La estructura física del FACCH es semejante a la del canal de tráfico al que va asociado.

- **SDCCH (Stand alone Dedicated Control CHannel).**- Es el canal a través del que se transmite toda la información de señalización necesaria para: a) Establecimiento de una llamada: en este caso la información incluye la comprobación de la identidad del abonado, la autenticación del móvil, el número al que se llama y el establecimiento de los parámetros necesarios para el cifrado de la conversación; b) Encendido/Apagado del móvil: IMSI Attach/IMSI Detach; c) Actualización de posición: En este caso se transmite la comprobación de la identidad del usuario, autenticación del móvil, establecimiento del cifrado e indicación del valor del nuevo LAC en el que quiere registrarse el móvil; d) Envío/recepción de SMS (mensajes cortos): la información transmitida es semejante a la que corresponde a un establecimiento de llamada, pero además se incluye el contenido del mensaje..

### **2.3 Planificación de capacidad**

En esta sección se tratan los tópicos de requerimientos de capacidad, y los criterios generales para calcular el tráfico.

#### **2.3.1 Requerimientos de capacidad**

La Capacidad se refiere a la cantidad de usuarios que se pueden atender simultáneamente. Es un factor de elevada relevancia, pues del adecuado dimensionamiento de la capacidad del sistema, según demanda de servicio, depende la calidad del servicio que se preste al usuario.

La capacidad de una red celular depende de varios factores, principalmente se encuentra limitada por el número de canales de voz analógicos o digitales definidos, así como también por la interferencia adyacente o co-canal que puede ser manejada para mantener la calidad en las llamadas.

Para esto es necesario tener conocimiento de la Teoría de Tráfico y los principios de diseño de un sistema celular en términos del número y del tipo de canales requeridos en un área determinada. La Teoría de Tráfico para sistemas celulares se encuentra basada en suposiciones con respecto al comportamiento de los usuarios y la forma cómo el sistema maneja a los mismos.

Para definir el número de canales requeridos, basados en la Teoría de Tráfico, se utiliza la estrategia de Erlang B, el mismo que manifiesta que si un intento de llamada no pudo ser atendido, el abonado no realiza otro intento de manera inmediata.

El Grado de Servicio mide la dificultad de utilizar un canal cuando se requiere la comunicación. Da una idea de la calidad del dimensionamiento. Se emplea para dimensionar la capacidad de la red de radio (número de canales) y para dimensionar los sistemas de troncales de interconexión.

Respecto de la Calidad de Servicio de la red de radio, se considera una Probabilidad de Bloqueo del 2%, lo que está acorde con las recomendaciones del estándar GSM y es una media de diseño de la Industria. Para las redes troncales de interconexión, se considera una probabilidad de bloqueo del 1%, cifra más exigente respecto del acceso de radio, dado que la llamada está en progreso y se necesita terminarla para asegurar un uso eficiente de la red.

El estándar de la industria en términos de interconexión es el valor señalado, que garantiza una calidad adecuada de acuerdo con la normativa vigente local. El proceso de diseño de una red de radio debe contemplar un cierto factor de eficiencia máxima en el uso de los canales de tráfico, pues el proceso de diseño y construcción de red es un proceso que requiere de tiempo y no se puede sacrificar la calidad del servicio por falta de capacidad de red de radio.

Dependiendo del desarrollo que tenga la red, en casos extremos y dependiendo de las limitaciones físicas de equipos y generalmente en áreas urbanas, el número de canales determinados resulta insuficiente y no satisfacen la demanda.

Por lo que es necesario reducir el área de cobertura de las celdas existentes para

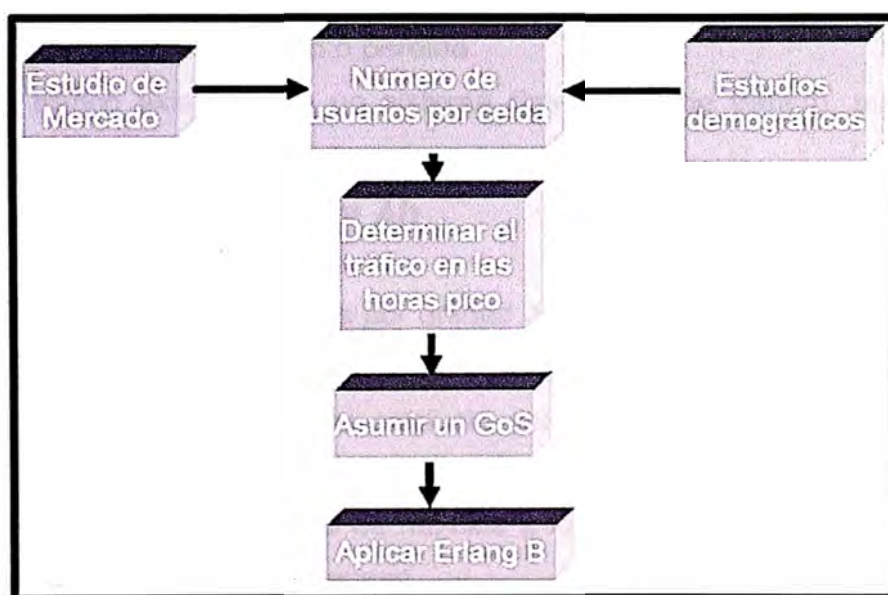
lograr un eficiente reuso de frecuencias que permitan un incremento de capacidad del sistema añadiendo una nueva celda.

Para la planeación de capacidad se deben considerar los siguientes aspectos:

- El dato inicial sería el área a ser planeada y número de suscriptores para voz y datos en el área de planificación.
- Modelo de tráfico.
- Objetivo del dimensionamiento: probabilidad de bloqueo, retardo principal.
- Calcular el tráfico ofrecido del área de planeación; sería el resultado de multiplicar el modelo de tráfico por el número de suscriptores en el área a ser planeada.
- Ajuste inicial, igualando la capacidad de la celda con número de celdas a cubrir.
- Cálculo del tráfico ofrecido por celda, que es la división entre el tráfico ofrecido y el número de celdas a cubrir.
- Calcular recursos necesarios, sería el número de canales TCH, mediante Erlang B.
- Cálculo del número total de timeslots necesarios, que es el resultado de la suma: número de timeslots de BCCH más número de timeslots de TCH.
- Afinamiento entre la capacidad de celdas y el número de transmisores de las celdas, en la red; ya sea bajo escenarios limitados por capacidad o por cobertura
- El resultado final será la capacidad en cuanto a número de celdas necesarias y la capacidad mediante el número de transmisores ofrecidos.

### 2.3.2 Criterios generales para calcular el tráfico

El objetivo de la ingeniería de tráfico en los sistemas móviles es determinar el número de canales necesarios por zona de cobertura para satisfacer las necesidades de tráfico y señalización.



**Figura 2.13** Diagrama General para calcular el tráfico.(Fuente: Elaboración propia)

La determinación del número de canales debe satisfacer determinada calidad de servicio denominado Grado de Servicio y que se conoce por sus siglas en inglés GoS (Grade of Service). El GoS puede ser definido de diferentes maneras, en función de las características del funcionamiento del sistema. Por ejemplo, en el caso de los sistemas celulares el GoS queda definido por la probabilidad de que un intento de llamada no resulte exitosa producto de que el sistema está congestionado. Esta probabilidad se denomina probabilidad de bloqueo  $P_b$ .

La capacidad corresponde al diseño de las radio bases necesarias para potenciar la capacidad de cursar tráfico en los sectores de mayor demanda y de alta concentración de personas como las ciudades.

Idealmente, los canales disponibles deben tener el mismo número de usuarios activos al mismo tiempo. En la práctica, no es posible hacer un buen reparto de carga por la red. Para una capacidad máxima de  $N$  usuarios simultáneos y  $L$  suscriptores se tiene que:

$L < N$ : Sistema no bloqueado

$L > N$ : Sistema bloqueado

Se tiene que considerar siempre lo siguiente:

- Conocer cuál es la probabilidad de que una solicitud de llamada no pueda atenderse (grado de bloqueo).
- Cuando una llamada se bloquea, queda en una cola de espera. Se debe saber cuál es el retardo medio.
- Conocer la capacidad que se necesita para proporcionar cierto retardo medio.
- Tráfico transportado es el volumen de tráfico manejado por la central, y se obtiene de mediciones. Tráfico ofrecido es una cantidad no medible, correspondiente al tráfico transportado más el tráfico bloqueado o perdido.

La carga de tráfico existente en un sistema (intensidad de tráfico), puede medirse como:

$$A = \lambda h \quad (2.12)$$

Dónde:

$\lambda$  = Número medio intentos de llamadas por unidad de tiempo.

$h$  = Tiempo medio de duración por llamada realizada.

$A$  = Flujo de tráfico (se define como el producto del número de llamadas y su duración promedio durante un periodo de observación).

Para saber cuál es el número total de móviles a los que se puede dar servicio en un sistema se debe seguir el siguiente proceso.

- 1) Determinar del número de canales en el sistema (por cluster). Ver Formula 2.13.
- 2) Determinar el número de canales en una celda. Ver fórmula 2.14.

3) Determinar el número de canales de tráfico (porque un canal es para señalización).

Fórmula 2.15

4) Determinar el tráfico total ofrecido (Fórmula 2.16 y 2.17)

5) Determinar la Intensidad de tráfico en la celda, está es la fórmula inversa de la fórmula de Erlang B;  $p=B(N,A)$ . Fórmula 2.18.

6) Determinar el número de móviles en la celda. Fórmula 2.19

7) Determinar la densidad de tráfico por celda. Formula 2.20

8) Determinar la superficie de un cluster. Fórmula 2.21

9) Determinar el índice de reutilización. Fórmula 2.22.

10) Determinar el número total de móviles a los que se puede dar servicio. Fórmula 2.23.

$$C = W\Delta f \quad (2.13)$$

Donde;

$W$ : recurso espectral;

$\Delta f$ . separación de canales

$$N = C / J \quad (2.14)$$

Donde,  $J$ : número de celdas

$$\text{número de canales de tráfico} = N - 1 \quad (2.15)$$

$$A = \frac{M \cdot L \cdot H}{3600} (\text{Erlang}); \text{ para un movil: } a = \frac{H \cdot L}{3600} (\text{Erlang}) \quad (2.16)$$

(2.17)

Donde;  $M$ : número de móviles;  $L$ : número llamadas por móvil en hora cargada;  $H$ : duración (s)

$$A = B^{-1}(N - 1, p) \quad (2.18)$$

$$m = \frac{A}{a} \quad (2.19)$$

$$P_0 = \frac{A}{S_0} \quad (2.20)$$

Donde;  $S_0$ : superficie de la celda;  $S_0 = \pi \cdot r^2$  ( $r$ : radio de la celda)

$$S_r = J \cdot S_0 \quad (2.21)$$

$$Q = \frac{S}{S_0} + 1 \quad (2.22)$$

Donde;  $S$ : superficie de cobertura

$$M = Q \cdot J \cdot m \quad (2.13)$$

Uno de los aspectos más interesantes en diseño de redes es el dimensionado de equipos y elementos de interconexión. Cualquier intento o telecomunicación en progreso

va a requerir recursos de red desde la fase de establecimiento hasta la finalización.

Estos recursos, para una llamada particular, pueden variar en tipo cantidad dependiendo del servicio demandado, la fase del proceso de comunicación y la propia red o redes que se atraviesen.

Un ejemplo simple es el dimensionado de una ruta de enlaces entre centrales de conmutación de circuitos. Los clientes servidos por dos centrales dadas se comunican entre sí a través de esta ruta, la cual posee a su vez un número de enlaces o circuitos individuales por los que se puede tener una única comunicación simultánea. El objetivo del dimensionado de esta ruta es determinar el número de circuitos necesarios para satisfacer la demanda de llamadas en condiciones de calidad para los usuarios y costos para el operador, óptimas para ambos casos.

Siguiendo con el ejemplo, en este caso particular es necesario considerar al menos:

- La demanda de servicio: en forma de Intensidad de tráfico que intuitivamente indica el número medio de llamadas simultáneas que los usuarios tratarán de establecer y que se ofrecerán a la ruta de enlace.
- La naturaleza del sistema de telecomunicación: determinará métodos o procedimientos específicos de cálculo. El caso más general considera únicamente llamadas originadas en una de las centrales con destino a la otra y que las llamadas que traten de establecerse en un instante de tiempo que todos los enlaces estén ocupados se perderán y desaparecen del sistema, sin colas de espera y sin rutas alternativas.
- La calidad o grado de servicio que se considera para dicha ruta: en el ejemplo será el porcentaje promedio de llamadas admitidas que se podrán perder durante el periodo definido como tiempo de observación. Este objetivo de calidad puede variar entre 0% y 100%, donde 0% implica que no se perdería ninguna llamada y 100% que se perderían todas.

Ahora bien, todos los conceptos explicados han de determinarse previamente para realizar posteriormente el simple cálculo matemático. Estudios particulares que implican aspectos regulatorios, de marketing y financieros acotan los valores recomendables de calidad de servicio de las rutas, por lo general entre 5% y 0,5%; evidentemente el 0% no se plantea, ya que como se podría deducir requeriría un número infinito de circuitos en la ruta para que la probabilidad de perder una llamada fuese 0%. Por otro lado, mediciones previas de tráfico y otros procedimientos de proyección permiten determinar aproximadamente la demanda de servicio esperada.

El método de dimensionado aplicable en este ejemplo en Teoría de Tráfico se engloba dentro de las Fórmulas de Erlang y en particular para sistemas a pérdida es la Fórmula de Erlang-B.

Es una función  $G\% = B(n, A)$ , donde  $G$  es el grado de servicio que resultará cuando a la ruta de  $n$  enlaces se le ofrezca una intensidad de tráfico  $A$ . Entonces, el proceso de cálculo de dimensionado, consiste en hallar el número entero de  $n$  enlaces para el valor  $A$  de tráfico estimado y el grado de servicio  $G$  prefijado a partir de la función de tráfico que aplique.

Como ejemplo, se puede considerar una BTS de cobertura con una capacidad promedio, dada por tres sectores, con 2 TRX cada sector, lo que permitirá ofrecer una capacidad de cursar tráfico de voz de 7,4 erlang por sector (empleando Modelo de Tráfico Erlang B). Un time slot se emplea como señalización por cada TRX, quedando  $7 \times 2 = 14$  time slot para tráfico de voz por sector.

## **CAPÍTULO III PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN**

En el presente capítulo se describe los aspectos relacionados con el planteamiento de la solución.

Se desarrollan los siguientes tópicos: Desarrollo Informático; Arquitectura definida (Cliente/Servidor); Características de la arquitectura Cliente/Servidor; principales elementos para el desarrollo de la herramienta informática; y programación y algoritmo para la herramienta informática

### **3.1 Desarrollo Informático**

Una aplicación informática, que también se llamada sistema o programa, es en esencia un programa de computador destinado a ser usado por ciertas personas que son llamados genéricamente usuarios. Para el caso de estudio, el usuario es el personal encargado del área responsable de las Ampliaciones de Capacidad de la Red.

Un desarrollo informático consiste de un conjunto de actividades que conducen a la creación de una aplicación informática y eventualmente a su implementación en una empresa; para el caso de estudio la empresa es una operadora de telecomunicaciones.

Es común, claro, que sistemas que nacen de una necesidad de los usuarios por mejorar los procesos en sus labores o responsabilidades, estos posteriormente son sometidos por el desarrollador a modificaciones y generalizaciones, o que éste recoja conocimientos adquiridos de varios proyectos un mismo rubro como es el caso de los proyectos de Redes Celulares y a partir de ellos desarrolle una línea específica.

Un ejemplo típico corresponde a la especialización en Ampliación de Capacidad de radio que adquiere un desarrollador. La primera experiencia que un desarrollador suele definir es su background, esto es, su especialidad y su estilo.

Las organizaciones (empresas o instituciones públicas o privadas) tienen la necesidad de realizar sus operaciones más ágil y eficientemente, debido a la creciente presión competitiva a la que están sometidas; esto se traduce en el requerimiento de que su personal sea más productivo, que se reduzcan los costos y gastos de operación, al mismo tiempo que se generen productos y servicios más rápidamente y con mejor calidad.

En este contexto, es necesario establecer una infraestructura de procesamiento de información, que cuente con los elementos requeridos para proveer información



adecuada, exacta y oportuna en la toma de decisiones y para proporcionar un mejor servicio a los clientes.

El modelo Cliente/Servidor reúne las características necesarias para proveer esta infraestructura, independientemente del tamaño y complejidad de las operaciones de las organizaciones públicas o privadas y, consecuentemente desempeña un papel importante en este proceso de evolución.

### 3.2 Arquitectura definida: CLIENTE/SERVIDOR

En el mundo de TCP/IP las comunicaciones entre computadoras se rigen básicamente por lo que se llama modelo Cliente-Servidor, éste es un modelo que intenta proveer usabilidad (facilidad con que las personas pueden utilizar una herramienta particular), flexibilidad, interoperabilidad y escalabilidad en las comunicaciones.

Desde el punto de vista funcional, se puede definir la computación Cliente/Servidor como una arquitectura distribuida que permite a los usuarios finales obtener acceso a la información en forma transparente aún en entornos multiplataforma.

En el modelo cliente servidor, el cliente envía un mensaje solicitando un determinado servicio a un servidor (hace una petición), y este envía uno o varios mensajes con la respuesta (provee el servicio) (Ver Figura 3.1). En un sistema distribuido cada máquina puede cumplir el rol de servidor para algunas tareas y el rol de cliente para otras.

Los principales componentes del esquema cliente-servidor son entonces los Clientes, los Servidores y la infraestructura de comunicaciones.



**Figura 3.1** Modelo Cliente/Servidor. (Fuente: Elaboración Propia)

La idea es tratar a una computadora como un instrumento, que por sí sola pueda realizar muchas tareas, pero con la consideración de que realice aquellas que son más adecuadas a sus características. Si esto se aplica tanto a clientes como servidores se entiende que la forma más estándar de aplicación y uso de sistemas Cliente/Servidor es mediante la explotación de las PC's a través de interfaces gráficas de usuario; mientras que la administración de datos y su seguridad e integridad se deja a cargo de computa-

doras centrales tipo mainframe.

Usualmente la mayoría del trabajo pesado se hace en el proceso llamado servidor y el o los procesos cliente sólo se ocupan de la interacción con el usuario (aunque esto puede variar). En otras palabras la arquitectura Cliente/Servidor es una extensión de programación modular en la que la base fundamental es separar una gran pieza de software en módulos con el fin de hacer más fácil el desarrollo y mejorar su mantenimiento

Esta arquitectura permite distribuir físicamente los procesos y los datos en forma más eficiente lo que en computación distribuida afecta directamente el tráfico de la red, reduciéndolo grandemente.

### **3.2.1 Cliente**

El Cliente normalmente maneja todas las funciones relacionadas con la manipulación y despliegue de datos, por lo que están desarrollados sobre plataformas que permiten construir interfaces gráficas de usuario (GUI), además de acceder a los servicios distribuidos en cualquier parte de una red.

Las funciones que lleva a cabo el proceso cliente se resumen en los siguientes puntos:

- Administrar la interfaz de usuario.
- Interactuar con el usuario.
- Procesar la lógica de la aplicación y hacer validaciones locales.
- Generar requerimientos de bases de datos.
- Recibir resultados del servidor.
- Formatear resultados.

### **3.2.2 Servidor**

El servidor normalmente maneja todas las funciones relacionadas con la mayoría de las reglas del negocio y los recursos de datos.

Las funciones que lleva a cabo el proceso servidor se resumen en los siguientes puntos:

- Aceptar los requerimientos de bases de datos que hacen los clientes.
- Procesar requerimientos de bases de datos.
- Formatear datos para transmitirlos a los clientes.
- Procesar la lógica de la aplicación y realizar validaciones a nivel de bases de datos.

## **3.3 Características de la arquitectura Cliente/Servidor**

Las características básicas de una arquitectura Cliente/Servidor son las siguientes:

- Combinación de un cliente que interactúa con el usuario, y un servidor que interactúa con los recursos compartidos. El proceso del cliente proporciona la interfaz entre el

usuario y el resto del sistema. El proceso del servidor actúa como un motor de software que maneja recursos compartidos tales como bases de datos, impresoras, módems, etc.

- Las tareas del cliente y del servidor tienen diferentes requerimientos en cuanto a recursos de cómputo como velocidad del procesador, memoria, velocidad y capacidades del disco e input-output devices.
- Se establece una relación entre procesos distintos, los cuales pueden ser ejecutados en la misma máquina o en máquinas diferentes distribuidas a lo largo de la red.
- Existe una clara distinción de funciones basada en el concepto de "servicio", que se establece entre clientes y servidores.
- La relación establecida puede ser de muchos a uno, en la que un servidor puede dar servicio a muchos clientes, regulando su acceso a recursos compartidos.
- Los clientes corresponden a procesos activos en cuanto a que son éstos los que hacen peticiones de servicios a los servidores. Estos últimos tienen un carácter pasivo ya que esperan las peticiones de los clientes.
- No existe otra relación entre clientes y servidores que no sea la que se establece a través del intercambio de mensajes entre ambos. El mensaje es el mecanismo para la petición y entrega de solicitudes de servicio.
- El ambiente es heterogéneo. La plataforma de hardware y el sistema operativo del cliente y del servidor no son siempre la misma. Precisamente una de las principales ventajas de esta arquitectura es la posibilidad de conectar clientes y servidores independientemente de sus plataformas.
- El concepto de escalabilidad tanto horizontal como vertical es aplicable a cualquier sistema Cliente/Servidor. La escalabilidad horizontal permite agregar más estaciones de trabajo activas sin afectar significativamente el rendimiento. La escalabilidad vertical permite mejorar las características del servidor o agregar múltiples servidores.

### **3.3.1 Ventajas del esquema Cliente/Servidor**

Entre las principales ventajas del esquema Cliente/Servidor están:

- Existencia de plataformas de hardware cada vez más baratas: Esta constituye a su vez una de las más palpables ventajas de este esquema, la posibilidad de utilizar máquinas considerablemente más baratas que las requeridas por una solución centralizada, basada en sistemas grandes. Además, se pueden utilizar componentes, tanto de hardware como de software, de varios fabricantes, lo cual contribuye considerablemente a la reducción de costos y favorece la flexibilidad en la implantación y actualización de soluciones.
- Integración entre sistemas diferentes: Comparte información permitiendo, por ejemplo que las máquinas ya existentes puedan ser utilizadas pero utilizando interfaces más amigables al usuario. De esta manera, se puede integrar PCs con sistemas medianos y

grandes, sin necesidad de que todos tengan que utilizar el mismo sistema operacional.

- Interfaces gráficas interactivas: los sistemas construidos bajo este esquema tienen mayor interacción y más intuitiva con el usuario. En el uso de interfaces gráficas para el usuario, el esquema Cliente/Servidor presenta la ventaja, con respecto a uno centralizado, de que no es siempre necesario transmitir información gráfica por la red pues esta puede residir en el cliente, lo cual permite aprovechar mejor el ancho de banda de la red.
- Rápido el mantenimiento y el desarrollo de aplicaciones: se pueden emplear las herramientas existentes (por ejemplo los servidores de SQL o las herramientas de más bajo nivel como los sockets o el RPC).
- La estructura inherentemente modular facilita además la integración de nuevas tecnologías y el crecimiento de la infraestructura computacional, favoreciendo así la escalabilidad de las soluciones.
- Proporcionar, a los diferentes departamentos de una organización, soluciones locales, pero permitiendo la integración de la información relevante a nivel global.

### **3.3.2 Desventajas del esquema Cliente/Servidor**

Entre las principales desventajas del esquema Cliente/Servidor están:

- El mantenimiento de los sistemas es más difícil pues implica la interacción de diferentes partes de hardware y de software, distribuidas por distintos proveedores, lo cual dificulta el diagnóstico de fallas.
- Se cuenta con muy escasas herramientas para la administración y ajuste del desempeño de los sistemas.
- Es importante que los clientes y los servidores utilicen el mismo mecanismo (por ejemplo sockets o RPC), lo cual implica que se deben tener mecanismos generales que existan en diferentes plataformas. Además, hay que tener estrategias para el manejo de errores y para mantener la consistencia de los datos.
- La seguridad de un esquema Cliente/Servidor es otra preocupación importante. Por ejemplo, se deben hacer verificaciones en el cliente y en el servidor.
- El desempeño es otro de los aspectos que se deben tener en cuenta en el esquema Cliente/Servidor. Problemas de este estilo pueden presentarse por congestión en la red, dificultad de tráfico de datos, etc.

## **3.4 Principales elementos para el desarrollo de la herramienta informática**

En esta sección se desarrollan los siguientes tópicos: Gestor de Base de Datos, Interfaz para usuario de la herramienta informática.

### **3.4.1 Gestor de Base de Datos**

Un Gestor de base de datos (GBD) es un programa que permiten crear y mantener

una Base de Datos, asegurando su integridad, confidencialidad y seguridad.

#### **a. Funciones del Gestor de BD**

Es responsable de conservar la integridad: Comprueba si los datos almacenados en la BD satisfacen las restricciones de integridad (consistencia).

- Es responsable de garantizar la seguridad: Evita accesos indebidos.
- Es responsable del respaldo y recuperación: Para evitar pérdidas de información el gestor BD debe detectar fallos y restaurar la BD estado que tenía antes de que ocurriera el fallo.

#### **b. Control de concurrencia**

Cuando varios usuarios actualizan la BD de forma concurrente (a la vez) puede que no se conserve la consistencia de los datos, con lo cual el sistema debe controlar la interacción entre los usuarios.

#### **c. Componentes de un Gestor de Base de Datos**

Los principales componentes del gestor de la base de datos son los siguientes:

- Control de autorización. Este módulo comprueba que el usuario tiene los permisos necesarios para llevar a cabo la operación que solicita.
- Procesador de comandos. Una vez que el sistema ha comprobado los permisos del usuario, se pasa el control al procesador de comandos.
- Control de la integridad. Cuando una operación cambia los datos de la base de datos, este módulo debe comprobar que la operación a realizar satisface todas las restricciones de integridad necesarias.
- Optimizador de consultas. Este módulo determina la estrategia óptima para la ejecución de las consultas.
- Gestor de transacciones. Este módulo realiza el procesamiento de las transacciones.
- Planificador (scheduler). Este módulo es el responsable de asegurar que las operaciones que se realizan concurrentemente sobre la base de datos tienen lugar sin conflictos.
- Gestor de recuperación. Este módulo garantiza que la base de datos permanece en un estado consistente en caso de que se produzca algún fallo.
- Gestor de buffers. Este módulo es el responsable de transferir los datos entre memoria principal y los dispositivos de almacenamiento secundario. A este módulo también se le denomina gestor de datos.

#### **3.4.2 Interfaz para usuario de la herramienta informática**

En software, es parte de un programa que permite el flujo de información entre un usuario y la aplicación, o entre la aplicación y otros programas o periféricos. Esa parte de un programa está constituida por un conjunto de comandos y métodos que permiten

estas intercomunicaciones.

Al diseñar interfaz de usuario deben tenerse en cuenta las habilidades cognitivas y de percepción de las personas que serán usuarias, y adaptar el programa a ellas.

Así, una de las cosas más importantes que una interfaz puede hacer es reducir la dependencia de las personas de su propia memoria, no forzándoles a recordar cosas innecesariamente (por ejemplo, información que apareció en una pantalla anterior) o a repetir operaciones ya realizadas (por ejemplo, introducir un mismo dato repetidas veces).

La persona tiene unas habilidades distintas de la máquina, y ésta debe utilizar las suyas para soslayar las de aquella (como por ejemplo la escasa capacidad de la memoria de corto alcance).

- Velocidad de Aprendizaje.- Se pretende que la persona aprenda a usar el sistema lo más pronto posible.
- Velocidad de Respuesta.- El tiempo necesario para realizar una operación en el sistema.
- Tasa de errores.- Porcentaje de errores que comete el usuario.
- Retención.- Cuánto recuerda el usuario sobre el uso del sistema en un período. de tiempo.
- Satisfacción.- Se refiere a que el usuario esté a gusto con el sistema.

### **3.5 Programación y Algoritmo para la herramienta informática**

La programación de algoritmos no es más que el estudio de un problema, su análisis e implementación final del mismo.

#### **3.5.1 Etapas de programación de algoritmos**

En la programación de los algoritmos se encuentran tres fases fundamentales, las cuales son: identificación del problema, análisis y desarrollo del problema e implementación.

- La primera etapa es la identificación del problema, es decir se precisa lo que se quiere hacer. En esta etapa se identifica la información de entrada o inicial, que servirá para el análisis del problema.
- La segunda etapa o fase es analizar el problema, en esta etapa es conveniente dividir o segregar las tareas necesarias e identificadas que ayudaran a la solución del problema dado. De esta forma se simplificarán y serán más comprensibles para su desarrollo, es recomendable siempre ir de las tareas o actividades más simples a las más complejas. En esta fase se transforma la información de entrada recibida.
- La tercera etapa en la programación de algoritmos, consiste en la implantación y puesta en desarrollo del mismo, aquí se obtiene la información y resultado final resultante de las

etapas anteriores.

En la programación de algoritmos, se utiliza una nomenclatura llamada pseudocódigo, una vez realizados los algoritmos en pseudocódigo, estos pueden ser traducidos en cualquier lenguaje de programación que lo soporte.

### **3.5.2 Objetivos de los Algoritmos en Ampliación de Capacidad**

Para el análisis se usó la experiencia profesional en el campo, también conceptos de Estadística Descriptiva como es el **Promedio Recortado**, este último usado de manera que se ajuste a lo requerido y no a lo propiamente descrito en dicho concepto.

Los algoritmos están descritos para ser implementados en programación de alto nivel. Estos se agrupan de la siguiente manera:

- Determinar y listar los bloqueos mayores al 2%(Normalizado)
- Determinar y listar la pérdida de llamadas de mayor a menor(Normalizado)
- Planificar Ampliaciones futuras

#### **a. Algoritmo Determinar y listar los bloqueos mayores al 2%(Normalizado)**

Para cada site x banda x sector x día

1. Calcular el  $\%TCHcong = (TCHcong * 100) / TCHatt \%$
2. En un periodo de 30 días se eliminarán los 10 menores valores de  $\% TCHcong$  y los 3 mayores valores de  $\% TCHcong$ .
3. Sobre los 17 valores sobrantes se hará un promedio aritmético para calcular un único valor representativo de  $\% TCHcong$ .
4. Para cada site x banda x sector se seleccionará el mayor valor de  $\% TCHcong$ , este representará el  $\% TCHcong$  para cada site.
5. Se listará de mayor a menor valor los valores  $\% TCHcong$  de los sites, con esto se obtiene la lista total (ranking) de los bloqueos de la red.

#### **b. Determinar y listar la pérdida de llamadas de mayor a menor (Normalizado)**

Para cada site x banda x sector x día

1. En un periodo de 30 días se eliminarán los 10 menores valores de  $TCHcong$  y los 3 mayores valores de  $TCHcong$ .
2. Sobre los 17 valores sobrantes se hará un promedio aritmético para calcular un único valor representativo de  $TCHcong$ .
3. Para cada site x banda x sector se seleccionará el mayor valor de  $TCHcong$ , este representará el  $TCHcong$  para cada site.
4. Se listará de mayor a menor valor los valores  $TCHcong$  de los sites, con esto se obtiene la lista total (ranking) de pérdida de llamadas de la red.

#### **c. Planificar Ampliaciones futuras**

Capacidad Actual: Para cada site x banda x sector

1. Se calcula los TRX operativos,  $TRXOP = \text{Redondear mayor valor entero } (TCHDISP/8)$ .

Trafico Actual: Para cada site x banda x sector x día

2. En un periodo de 30 días se eliminarán los 10 menores valores de  $(TCHfulltraf + TCHhalftraf)$  y los 3 mayores valores de  $(TCHfulltraf + TCHhalftraf)$ .

3. Sobre los 17 valores sobrantes se hará un promedio aritmético para calcular un único valor representativo de  $(TCHfulltraf + TCHhalftraf)$ .

De acuerdo a los valores de crecimiento de tráfico dado por el ÁREA de MARKETING (X %).  $\text{Trafico actual} = \text{Trafico Actual} \times (100\% + X\%)$ .

Se calcula los canales necesarios para este tráfico esperado, hacemos uso de las tablas de ERLANGS (GoS 2%), estos canales llamaremos  $TCHdispEsp$ .

Se calcula los TRX necesarios para este tráfico ( $TRXOPEsp$ ).  $TRXOPEsp = \text{Redondear mayor valor entero}(TCHdispEsp/12.6)$ . El valor 12.6 es una constante, ver Anexo D

Para cada site x banda x sector, Si  $TRXOPEsp > TRXOP$  REQUIERE AMPLIACION DE CAPACIDAD



## **CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

En el presente capítulo se describe la implementación de la solución. Los tópicos a desarrollar son: Lenguaje para gestor de Base de Datos: SQL; Lenguaje de programación: Visual FOX; Resultados; Características de la Implementación.

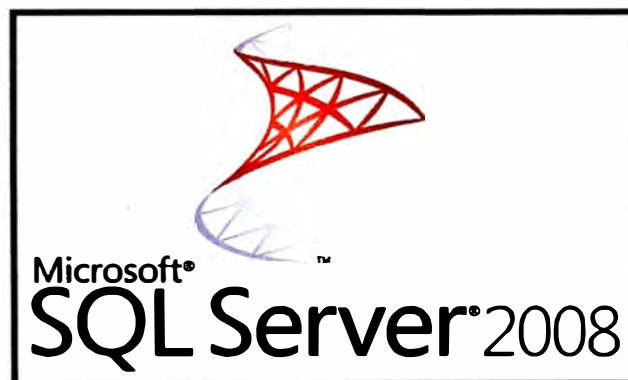
### **4.1 Lenguaje para gestor de Base de Datos: SQL**

Es un lenguaje de consulta estructurado (ver logo Figura 4.1), para bases de datos relacionales, es mucho más que un lenguaje de consulta puesto que permite además funciones de definición y control de datos, la estandarización ha sido crucial para su difusión.

Las sentencias SQL tienen:

- Palabras reservadas, que forman parte del lenguaje.
- Palabras definidas por el usuario, tales como, nombres de bases de datos, tablas, atributos, etc.
- Total independencia al escribir las sentencias

En SQL es indiferente escribir las palabras en mayúsculas o minúsculas, salvo para los literales. Cada cláusula o palabra puede aparecer en líneas diferentes, lo que no se puede hacer es separar una misma palabra. Se puede utilizar la indentación(ver Anexo E) que se quiera. Una sentencia o comando SQL finaliza con la aparición del símbolo.



**Figura 4.1** Logo SQL.(Fuente: Microsoft)

#### **4.1.1 Ventajas**

Pueden mencionarse varias ventajas de MySQL, sin embargo para los propósitos del presente trabajo se presentarán las más fundamentales:

Se considera a MySQL como el sistema de bases de datos más completo que existe, destacando su:

- Estructura cliente / servidor.
- Soporte de transacciones.
- Gran estabilidad.
- Gran seguridad.
- Escalabilidad.
- Es multiplataforma.
- Soporta PL/SQL.
- Independencia de los datos respecto a su administración.
- Reducción del espacio de almacenamiento, ya que se elimina la redundancia de los datos.

#### **4.1.2 Roles de MySQL**

Son un conjunto de privilegios que se asignan a los usuarios para trabajar en su entorno. Algunos roles, ya bien predeterminados tales como:

- DBA: corresponde al superusuario, es el que tiene asignado implícitamente todos los privilegios del sistema y demás roles.
- CONNECT: este rol se le asigna automáticamente a cada usuario que se cree en la base de datos. Quiere decir que tiene privilegios sobre sus objetos como conectarse a la base de datos y abrir una sesión, crear sus tablas, borrarlas y actualizarlas; pero no para otros usuarios.
- RESOURCE: este rol le posibilita al usuario tener un conjunto de privilegios de sistema un poco más avanzado que CONNECT como crear triggers, procedimientos, secuencias, etc.
- EXP\_FULL\_DATABASE: este rol se asigna a usuarios para que puedan realizar backups de la base de datos.
- IMP\_FULL\_DATABASE: este rol se asigna a usuarios para que puedan restaurar backups.

Para crear un rol se debe identificar:

- Nombre
- Rol o Roles predeterminados
- System Privilegios (privilegios del sistema)
- Privilegios sobre objetos (Se refieren a las autorizaciones para los usuarios que desean manipular una base de datos de un Administrador).

#### **4.2 Lenguaje de programación: Visual FOX**

Visual FoxPro combina una gran compatibilidad para vistas actualizables de datos del servidor con el acceso directo a la sintaxis nativa del servidor mediante el paso a través de SQL. De este modo, proporciona unos cimientos sólidos sobre los que pueden crearse

soluciones cliente-servidor versátil.

Provee las siguientes características para programar aplicaciones cliente-servidor:

- Completo diccionario de datos, vistas locales y remotas.
- Soporte de valores nulos
- Transacciones.
- Soporte de aplicaciones internacionales y acceso a cualquier origen de datos ODBC

El controlador ODBC de Visual FoxPro proporciona acceso rápido a datos de Visual FoxPro. Los usuarios finales y los programadores de muchas aplicaciones, incluidos Microsoft Access, Microsoft Excel, Visual C++ y Visual Basic, pueden usar este controlador para obtener, manipular y actualizar datos de Visual FoxPro.

Visual FoxPro también admite valores nulos en tablas, lo que mejora considerablemente la compatibilidad y la conectividad con otros orígenes de datos, como Microsoft Access, Visual Basic y servidores basados en SQL.

Cada base de datos de Visual FoxPro puede ser extendida por el usuario, con acceso a través de mejoras del lenguaje y los diseñadores visuales.

Se puede diseñar la aplicación de forma que proporcione acceso compartido a datos. El acceso compartido implica compartir datos entre usuarios y restringir el acceso cuando es necesario. Las transacciones y el almacenamiento local, pesimista u optimista, a nivel de registros o a nivel de tablas, implican menos programación para usted. El procesamiento por lotes incorporado y el control detallado de conflictos de actualización simplifica la actualización de datos en un entorno multiusuario.

Proporciona varias áreas de soporte para la programación de aplicaciones internacionales. Por ejemplo, Visual FoxPro admite varias páginas de códigos. Las páginas de códigos para griego y ruso son compatibles con las plataformas MS-DOS, Microsoft Windows y Macintosh. Visual FoxPro también admite juegos de caracteres codificados en dos bytes para idiomas como japonés, coreano, chino tradicional y chino simplificado. Además, Visual FoxPro admite secuencias de intercalación para idiomas como japonés, alemán, chino tradicional e islandés.

Se puede enviar cualquier sintaxis de servidor nativa directamente a un servidor con las funciones de paso a través de SQL de Visual FoxPro. Estas funciones facilitan un acceso y un control adicionales del servidor que superan las capacidades de las vistas.

### **4.3 Resultados**

En esta sección se desarrollan muestran los siguientes tópicos

- Determinar y listar bloqueos mayores al 2%. Ver Figura 4.2, Tabla 4.1
- Determinar y listar perdida de llamadas de mayor a menor. Ver Figura 4.3, Tabla 4.2
- Planificar Ampliaciones futuras. Ver Figura 4.4, Tabla 4.3

# Planificación de Ampliación Capacidad Radio

Elegir la RED

- LIMA   
  PROVINCIAS   
  TOTAL PERU

Elegir la Banda Frecuencia

- 850   
  1900   
  850 / 1900

Elegir TIPO DE INFORME

- %CONG   
  CONG(# CALL)   
  PREDICCIÓN % CONG

Elegir el periodo

Fecha actual

Elegir periodo

El periodo es de 30 días, para generar los respectivos informes

Fecha Inicio 15/09/2010

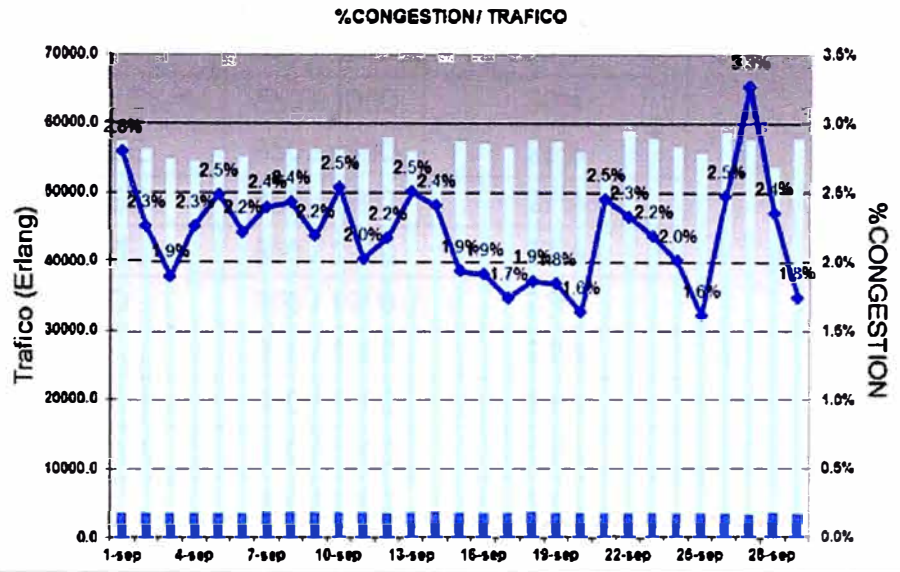
Fecha Fin 14/10/2010

Generar Informe

EVOLUCIÓN %CONG / TRAFIC

MES

Septiembre



Salir

Figura 4.2 Captura Herramienta Informática, %CONG.(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 4.1** Parte Informe Generado, %CONG (Fuente: Elaboración Propia)

<b>LUGAR</b>	<b>Departamento</b>	<b>SITE</b>	<b>Banda</b>	<b>%TCHCONG</b>
PROVINCIA	Madre de Dios	MELDONEDO	850 / 1900	42%
PROVINCIA	Lambayeque	URE_TUMEN	850 / 1900	36%
PROVINCIA	Cajamarca	PECEIPITE	850 / 1900	35%
PROVINCIA	Piura	CHULUCENES	850 / 1900	32%
PROVINCIA	Piura	RIO_CHIRE	850 / 1900	31%
PROVINCIA	Ucayali	PUCCELLPE	850 / 1900	30%
PROVINCIA	Ancash	POMEBEMBE	850 / 1900	28%
PROVINCIA	Lambayeque	VICTOR_REUL	850 / 1900	27%
PROVINCIA	Cajamarca	VILLENUEVE	850 / 1900	27%
PROVINCIA	La Libertad	ORBEGOSO	850 / 1900	25%
PROVINCIA	Ica	OCUCEJE	850 / 1900	24%
PROVINCIA	Arequipa	EB_CHIVEY	850 / 1900	19%
PROVINCIA	Ucayali	URETELEYE	850 / 1900	18%
PROVINCIA	Tumbes	CHOCENO	850 / 1900	17%
PROVINCIA	Moquegua	T_EMERU	850 / 1900	16%
PROVINCIA	Ayacucho	LLENOPETE	850 / 1900	16%
PROVINCIA	Ayacucho	EB_HUESCEPETE	850 / 1900	16%
PROVINCIA	Cajamarca	MEGDELENE	850 / 1900	15%
PROVINCIA	Ayacucho	MERECEIBO	850 / 1900	14%
PROVINCIA	Lambayeque	9_OCTUBRE	850 / 1900	13%

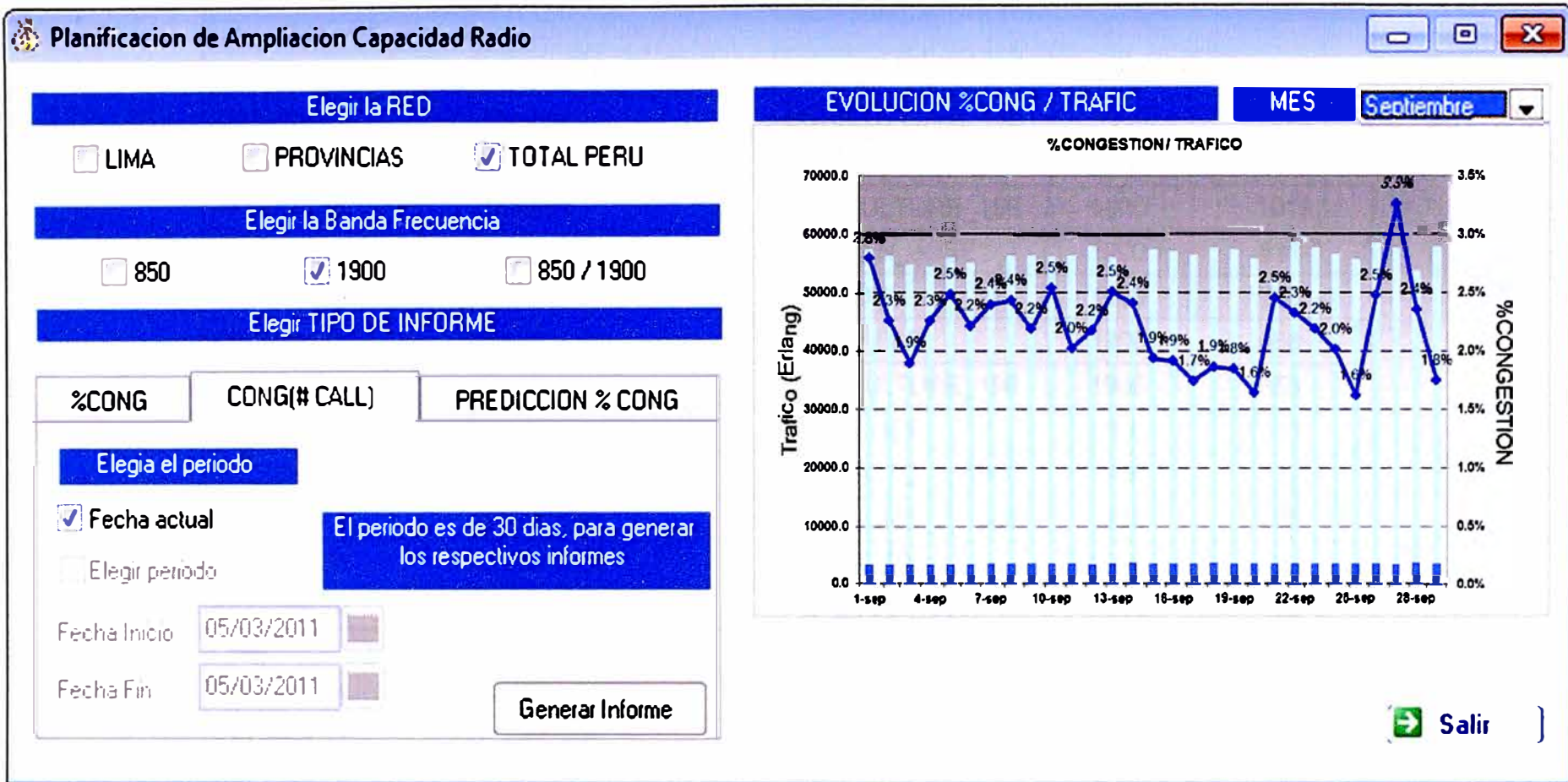


Figura 4.3 Captura Herramienta Informática, #CONG. (Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 4.2** Parte Informe Generado, #CONG. (Fuente: Elaboración Propia)

LUGAR	Departamento	SITE	Banda	TCHCONG
LIMA	LURIGANCHO	CLEMENTE_TORRES	1900	4133
PROVINCIA	Tumbes	EGRICULTURE_190	1900	1823
PROVINCIA	Cajamarca	EV_VILLENUEV_19	1900	1477
PROVINCIA	Tumbes	EGRICULTURE_190	1900	1019
PROVINCIA	Lambayeque	CEL_SEN_JOSE	1900	831
LIMA	SAN ISIDRO	CEDROS	1900	708
PROVINCIA	Piura	PIURE_BCP	1900	668
PROVINCIA	Tumbes	EGRICULTURE_190	1900	653
PROVINCIA	Lambayeque	LORE LORE	1900	513
PROVINCIA	San Martin	TEREPOTO_2_1900	1900	472
PROVINCIA	San Martin	TEREPOTO_2_1900	1900	455
PROVINCIA	Cajamarca	URE_JEEN	1900	453
PROVINCIA	La Libertad	PETELOS_1900	1900	453
LIMA	ATE	BUCEREMENGE	1900	444
PROVINCIA	San Martin	TEREPOTO_2_1900	1900	391
PROVINCIA	Cajamarca	EV_VILLENUEV_19	1900	388
PROVINCIA	Tumbes	TUMBES	1900	329
LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	CENEPE	1900	257
LIMA	SANTA ANITA	EVITEMIENTO	1900	248
PROVINCIA	La Libertad	H_PRIMEVERE	1900	222



Figura 4.4 Captura Herramienta Informática, Predicción %CONG. (Fuente: Elaboración propia)



**Tabla 4.3** Parte Informe Generado, Predicción %CONG. (Fuente: Elaboración Propia)

LUGAR	Departamento	SITE	Banda	ACTUAL						PROYECTADO					
				800			1900			800			1900		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
LIMA	LIMA	UNION	850	3	4	4				3	6	6			
LIMA	EL AGUSTINO	INTI	850	4	4	0				4	5	0			
LIMA	BARRANCO	BERRENCO	850	4	3	4				4	5	4			
LIMA	PACHANGARA	URE_CHURIN	850	2	2	3				4	4	4			
LIMA	PACHANGARA	URE_CHURIN	850	0	2	0				0	4	0			
LIMA	ATE	REUCENE	850	4	4	4				4	7	6			
LIMA	SAN MARTIN DE PORRES	SEN_ORLENDO	850	4	4	4				5	4	5			
LIMA	SAN ISIDRO	BCP_SEN_ISIDRO	850	4	8	4				4	8	6			
LIMA	SANTA ANITA	FLEMENGOS	850	3	4	2				4	4	4			
LIMA	MATUCANA	URE_METUCENE	850	2	2	4				4	4	4			
LIMA	ATE	SENTECLERE	850	2	3	3				3	4	4			
LIMA	SANTA ANITA	FLEMENGOS	850	1	1	0				2	2	0			
LIMA	ATE	CEREONGO	850	4	8	4				6	8	6			
LIMA	CARMEN DE LA LEGUA REYNOSO	REYNOSO	850	3	2	4				4	4	4			
LIMA	COMAS	HEBENE	850	2	2	3				3	4	3			
LIMA	LINCE	LINCE	850	2	4	2				4	4	4			
LIMA	LA MOLINA	VINES	850	4	3	4				6	5	5			
LIMA	SAN ISIDRO	CEDROS	850	4	2	3				4	4	4			
LIMA	SANTA ANITA	FLEMENGOS	850	2	2	2				3	3	2			
LIMA	VENTANILLA	CERRO VELE	850	1	3	0				2	4	0			

#### 4.4 Características de la Implementación

En esta sección se desarrollan los siguientes tópicos: Características de HW y SW; Costos SW / HW y Tiempo de Implementación

##### 4.4.1 Características de HW y SW

Son las siguientes:

1. Arquitectura Cliente Servidor.
2. Sistema Abierto.
3. Conectividad vía ODBC.
4. Motor de Base de Datos Relacional: Microsoft SQL Server 2008 o superior
5. Herramienta de Programación Win32 (Microsoft Visual FoxPro v.9.0)
6. Sistema operativo del Servidor: Microsoft Windows NT 2000 o superior
7. Sistema operativo requerido en las terminales de los usuarios: Microsoft Windows 2000 /XP/VISTA
8. Configuración mínima requerida en Servidor:
  - Monitor Color
  - Procesador Core 2 Duo o superior
  - 3.00 GB RAM
  - 100 GB DISCO RIGIDO (dependerá de los históricos a conservar)
9. Configuración mínima requerida en las estaciones de trabajo:
  - Monitor Color
  - Procesador Dual Core o superior
  - 1 GB RAM
  - 50 GB DISCO RIGIDO
10. Ayuda en línea.
11. Seguridad controlada por la Base de Datos, por Sistema operativo y control interno en las aplicaciones.

##### 4.4.2 Costos SW / HW y Tiempo de Implementación

La estructura de costos se muestra en la Tabla 4.4

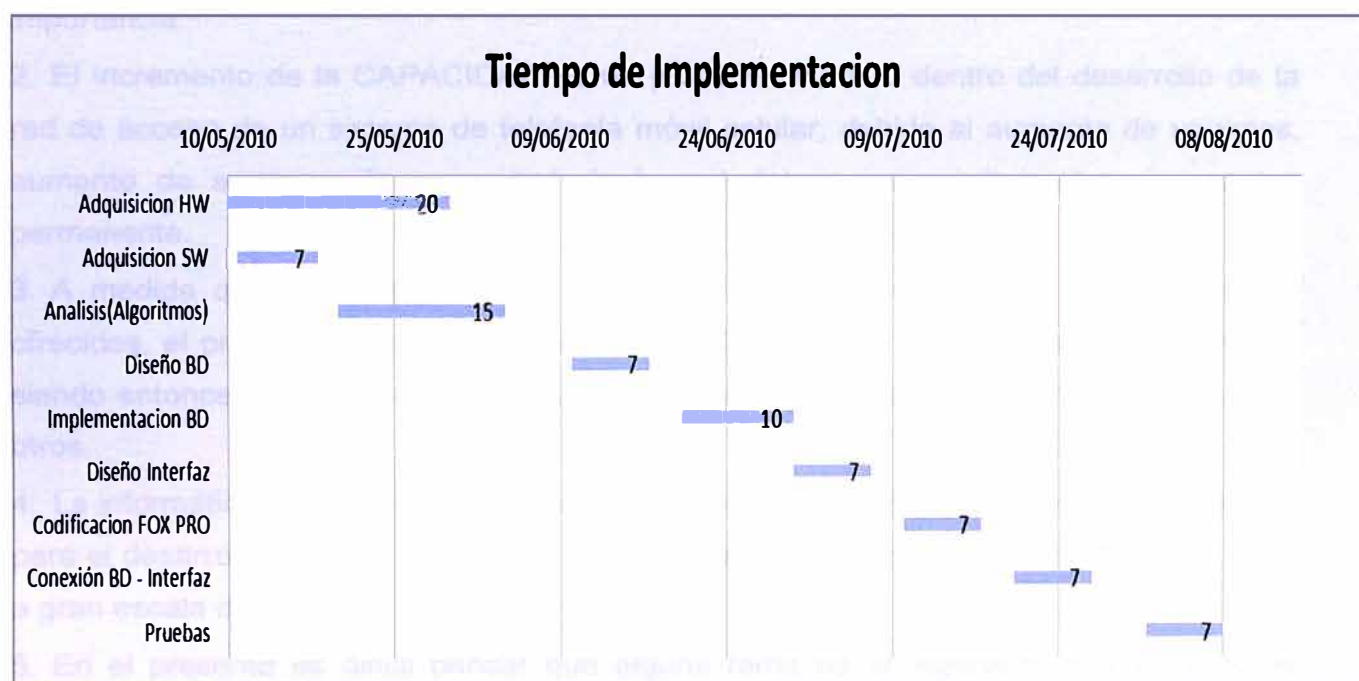
**Tabla 4.4** Cuadro de Costos (Fuente: Elaboración propia)

	<b>Costo Comercial (Incluido IGV)</b>	<b>Costo Real Implementación</b>	<b>Sustento</b>
SQL Server Standard Ed.	S/. 2948.82 server, S/. 539.78 por CAL adicional	S/. 0.00	Se usó Licencias libres existentes
Microsoft Visual FoxPro 9.0	S/. 999.53 - S/. 1337.29	S/. 0.00	Se usó Licencias libres existentes
Pc Server	S/. 13 328	S/. 0.00	Se usó Servidores Existentes
Pc Cliente	S/. 3 332	S/. 0.00	Se usó PC Asignadas

Los tiempos de implementación se ilustran con la Tabla 4.5 y la Figura 4.5.

**Tabla 4.5** Tiempos de implementación

Tareas	Inicio	Duración	Fin
Adquisición HW	10/05/2010	20	30/05/2010
Adquisición SW	11/05/2010	7	18/05/2010
Análisis(Algoritmos)	20/05/2010	15	04/06/2010
Diseño BD	10/06/2010	7	17/06/2010
Implementación BD	20/06/2010	10	30/06/2010
Diseño Interfaz	30/06/2010	7	07/07/2010
Codificación FOX PRO	10/07/2010	7	17/07/2010
Conexión BD - Interfaz	20/07/2010	7	27/07/2010
Pruebas	01/08/2010	7	08/08/2010



**Figura 4.6** Cuadro de Tiempos (Fuente: Elaboración propia)

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

1. Las operadoras de telefonía móvil GSM ofrecen más y nuevos servicios, esto ha incrementado considerablemente su número de usuarios de la red, por lo cual la planificación de la CAPACIDAD y la optimización del performance de la red toma mucha importancia.
2. El incremento de la CAPACIDAD es un proceso continuo dentro del desarrollo de la red de acceso de un sistema de telefonía móvil celular, debido al aumento de usuarios, aumento de servicios, la capacidad de la red deben ser monitoreados de manera permanente.
3. A medida que se incrementan el número de estaciones en la red y los servicios ofrecidos, el procesamiento para obtener los indicadores de red es aún más engorroso, siendo entonces indispensable manejar herramientas que automaticen ciertos cálculos y otros.
4. La informática como herramienta de la ingeniería, usa los fundamentos de la ingeniería para el desarrollo de soluciones integrales de cómputo, capaces de procesar información a gran escala de manera automática.
5. En el presente es difícil pensar que alguna rama de la ingeniería que no use, de alguna forma, el apoyo de la informática.
6. Se puede concluir que la herramienta informática cumple con los objetivos para la cual fue diseñado, siendo bastante amigable para el uso de los diferentes usuarios.

### **Recomendaciones**

1. El presente informe se orientado al análisis de la red de acceso radio (estaciones base), por lo cual se recomienda el análisis de los componentes fijos de la red especialmente a nivel de controladores y centrales.
2. Un diseño óptimo modelamiento de base de datos garantiza la integridad, confiabilidad de datos.
3. Un análisis y desarrollo de líneas códigos estandarizado facilitan el mantenimiento de los sistemas, ahorrando en tiempo y costos.

4. Implementar un plan de seguridad de datos (backup) de acuerdo a la criticidad de los datos es indispensable en los sistemas actuales, se recomienda para el presente informe hacer una copia de seguridad una vez por día.
5. El uso de computadoras de alta capacidad facilita el desarrollo, tiempos de respuesta, fases de pruebas en menor tiempo y el máximo desempeño de la herramienta informática.

**ANEXO A**  
**PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN, CÁLCULO Y REPORTE DEL INDICADOR**  
**DE CALIDAD DEL SERVICIO PÚBLICO MÓVIL**  
**TASA DE INTENTOS NO ESTABLECIDOS (TINE)**

## 1.- OBJETIVOS DEL INDICADOR

1.1.- Objetivo General: Impulsar el mejoramiento sostenido de los servicios móviles ofrecidos por los operadores.

1.2.- Objetivos específicos:

- Determinar el número de llamadas que no se llegan a establecer.
- Obtener información sobre la cantidad de intentos que, a causa de la congestión o fallas en la red, son desviados a una casilla de voz o anuncio grabado.

## 2.- PARÁMETROS DEL INDICADOR

2.1.- FÓRMULA:

<b>TINE(Mensual)</b>	=	$\frac{\text{Numero de Intentos No Establecidos}}{\text{Total de Intentos}} \times 100$
----------------------	---	---

Dónde:

Total de Intentos no Establecidos, es la suma de los Intentos no Establecidos medidos y registrados en cada día del mes en evaluación, en cada centro de conmutación móvil (CCM), Total de Intentos, la suma de los intentos medidos y registrados en cada día del mes en evaluación, en cada CCM .

Se considerará como Intento No Establecido Cuando no se logra concretar la llamada entre usuarios de la red en evaluación o entre el punto de interconexión con otra red y los usuarios de la red en evaluación, por causas técnicas y/u operacionales, radioeléctricas, de conmutación, de transmisión telefónica u otras causas incluyendo todo tramo posible de falla o congestión dentro de la red en evaluación. Asimismo, aquellos intentos de llamadas que debido a congestión o falla en la red sean desviados a una casilla de voz o anuncio grabado.

Se considerará como Intento Establecido a aquellos que se logran concretar entre usuarios de la red en evaluación o entre el punto de interconexión con otra red y los usuarios de la red en evaluación. Asimismo, se considerarán como Intentos Establecidos cuando ocurran los siguientes escenarios de llamada:

- El terminal llamado está ocupado, en este caso la llamada es respondida por el tono de ocupado o la casilla de voz del abonado respectivo.
- El terminal llamado está apagado o se encuentra fuera del área de servicio, en este caso la llamada es respondida por el anuncio grabado o la casilla de voz correspondiente.
- El terminal móvil llamado recibe la llamada pero no contesta.
- El terminal móvil llamado se encuentra con el servicio restringido por falta de pago a petición del abonado, en este caso debe escucharse el anuncio grabado correspondiente.
- El usuario ha marcado un número que no existe, en este caso debe escucharse el anuncio grabado correspondiente.

Entiéndase por Total de Intentos a la suma de los Intentos Establecidos y los Intentos No Establecidos. No se incluirán los intentos por trasposos entre celdas.

### 3.- MEDICIÓN Y DATOS

El indicador TINE debe ser calculado para la propia red así como para cada una de las redes interconectadas.

El operador, para las Áreas 1 y 2 y para cada CCM, realizará el cálculo del parámetro "Intentos No Establecidos" en períodos de medición mensual, diferenciando los Intentos entre usuarios de la misma red y los intentos a usuarios de cada una de las redes interconectadas, incluyendo la de telefonía fija. El operador deberá indicar, cuando OSIPTEL lo requiera, las distintas causas o eventos indicados en el numeral 2.1, que ocasionaron el no establecimiento de la llamada.

En igual forma, el parámetro "Total de Intentos" será calculado para cada CCM de la correspondiente área de concesión, para cada día del mes y en la hora de mayor carga, para la propia red y para las redes interconectadas.

#### **Hora Cargada u hora de mayor carga**

Es la hora continua del día donde el tráfico promedio cursado en la red es máximo.

- Área 1: Lima y Callao, con un área que comprenderá la demarcación geográfica descrita en el Anexo N° 1 de la Resolución Ministerial N° 439-91-TC/15.17.

- Área 2: Las demás provincias que conforman el territorio nacional, incluyendo el área de las provincias de Lima y Callao que no se encuentra comprendida por el Área 1.

El operador determinará la hora cargada con el perfil de tráfico de las veinticuatro (24) horas de cada día y para cada CCM.

La hora cargada será determinada considerando 03 meses consecutivos que no incluyan mayo ni diciembre de cada año y se utilizarán al año siguiente de su medición y determinación. Los perfiles de tráfico y la hora cargada calculada, se encontrarán a disposición del OSIPTEL y podrá ser revisada y cambiada cuando OSIPTEL lo considere necesario.

### 4.- REQUISITO MÍNIMO DE CALIDAD DEL SERVICIO

#### **Cálculo del IC TINE Anual**

El IC TINE Anual, es el promedio simple de los valores obtenidos en los doce (12) últimos meses del indicador. El IC TINE Anual, sirve para evaluar el cumplimiento del Valor Referencial de Calidad de Servicio (RMCS).

El Valor Referencial de Intentos No Establecidos (TINE) en la red móvil de la empresa concesionaria en evaluación, en la hora cargada de cada CCM, deberá ser menor o igual a: Tasa de Intentos No Establecidos 3.00%



**ANEXO B**  
**PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN, CÁLCULO Y REPORTE DEL INDICADOR DE CALIDAD DE TELEFONÍA MÓVIL TASA DE LLAMADAS INTERRUMPIDAS (TLLI)**

## 1.- OBJETIVOS DEL INDICADOR

1.1.- Objetivo General: Impulsar el mejoramiento sostenido de los servicios móviles ofrecidos por las concesionarias.

1.2.- Objetivos específicos:

- Establecer el número de llamadas en comunicación que se interrumpen sin que cualquiera de los usuarios involucrados la finalice.
- Obtener información sobre el funcionamiento de la red de telefonía móvil.

## 2.- PARÁMETROS DEL INDICADOR

2.1.- FÓRMULA:

<b>TLLI(Mensual)</b>	=	$\frac{\text{Total de Llamadas Interrumpidas} \times 100}{\text{Total de Llamadas Establecidas}}$
----------------------	---	---

Dónde:

Llamadas Interrumpidas son todas aquellas llamadas que, una vez establecida la comunicación, se interrumpen antes que cualquiera de los usuarios haya finalizado la comunicación, debido, entre otras causas, a problemas y/o deficiencias propias de la red de la empresa concesionaria en evaluación.

El total de llamadas establecidas son todas aquellas llamadas en las que el usuario llamado contesta y se establece la comunicación. Asimismo, aquellas en las que el usuario recibe la llamada pero no contesta o el terminal está ocupado, apagado o fuera del límite del área de servicio, suspendido por falta de pago o a solicitud del usuario, número inexistente o restricción del servicio a petición del abonado en cuyo caso son desviadas a un anuncio grabado o a la casilla de voz correspondiente.

## 3.- MEDICIÓN Y DATOS

El operador para las Áreas 1 y 2 (Área de Lima y área resto del país respectivamente), realizará el cálculo del Valor Referencial de Llamadas Interrumpidas, en períodos de medición mensual, diferenciando las llamadas entre usuarios de la misma red y las llamadas a redes diferentes, incluyendo la de telefonía fija.

- Área 1: Lima y Callao, con un área que comprenderá la demarcación geográfica descrita en el Anexo N° 1 de la Resolución Ministerial N° 439-91-TC/15.17.
- Área 2: Las demás provincias que conforman el territorio nacional, incluyendo el área de las provincias de Lima y Callao que no se encuentra comprendida por el Área 1.

En su correspondiente área de concesión, para cada central de conmutación móvil, para cada día del mes y en la hora de mayor carga, el operador registrará el Total de Llamadas Interrumpidas y el Total de Llamadas Establecidas.

La fecha de vencimiento del cumplimiento anual de la Calidad Mínima Exigible del Servicio para este indicador será el 31 de diciembre de cada año.

El operador registrará la información y estará a disposición a partir de los veinte (20) días calendario siguientes al período de medición. OSIPTEL, cuando lo considere conveniente, podrá solicitar y verificar la información indicada.

Para este indicador se aplicará las condiciones de la Hora Cargada definidas en el TINE.

#### 4.- CÁLCULO NUMÉRICO DEL INDICADOR

Total de llamadas interrumpidas

Total de llamadas establecidas

#### 5.- VALOR REFERENCIAL DE CALIDAD DEL SERVICIO

Cálculo del IC TLLI Anual El IC TLLI Anual, es el promedio simple de los valores obtenidos en los 12 últimos meses del indicador. El IC TLLI Anual, sirve para evaluar el cumplimiento del Valor Referencial de Calidad de Servicio.

El Valor Referencial de Calidad del Servicio del Indicador Llamadas Interrumpidas (TLLI) en la red móvil de la empresa concesionaria en evaluación, en la hora cargada de cada CCM, deberá ser menor o igual a: Tasa de Llamadas Interrumpidas 2.00%

**ANEXO C**  
**LÍMITES PARA EL USO DE SERVICIOS PÚBLICOS DE TELECOMUNICACIONES**

**Tabla C.1** Límites Para el Uso de Servicios Públicos de Telecomunicaciones (Fuente D.S. N° 038-2006)

SERVICIO/SISTEMA	SE REQUIERE MONITOREO SI:
Servicio de buscapersonas (unidireccional y bidireccional) Servicio de telefonía móvil celular Servicio troncalizado Servicio privados (fijo y móvil) Sistemas de Acceso Fijo Inalámbrico Sistemas Multicanales Analógicos y Digitales por debajo de 1 Ghz	La distancia de la antena a todo punto accesible por las personas es menor a 10 metros y PIRE mayor a 1230 vatios
Servicio de Comunicaciones Personales Sistemas Multicanales Analógicos y Digitales por encima de 1 Ghz	La distancia de la antena a todo punto accesible por las personas es menor a 10 metros y PIRE mayor a 1570 vatios
Estaciones Terrenas pertenecientes al Servicio Fijo por Satélite	Angulo de elevación de la antena menor a 25° o potencia del HPA mayor a 25 vatios o diámetro de la antena mayor a 3.6
Servicio de Radiodifusión	En todos los casos, salvo las estaciones clasificadas como de baja potencia por la Norma Técnica de Servicio de Radiodifusión, aprobada por R.M. N° 358-2003-MTC/03

**ANEXO D**  
**CALCULO DE LA CONSTANTE USADA PARA CALCULAR TRX**

Se considera que la red tiene 80% de canales en Half Rate y 20% de canales en Full Rate.

1 TRX(Canales para trafico)	
80% Half Rate	20% Full Rate

Se considera que 1 TRX tiene 8 canales disponibles, las cuales se 1 canal para señalización y 7 canales para tráfico de voz.

En teoría se tiene canales totales =  $7 \cdot 2 \cdot 0.8 + 7 \cdot 0.2 = 12.6$

1 TRX(Canales para trafico)		
80% Half Rate	20% Full Rate	
11.2 canales	1.4 canales	12.6 canales

Este valor se usa para calcular el número de TRX necesario asumiendo lo descrito anterior sobre los canales.

**ANEXO E**  
**IDENTACIÓN**



Indentación es un anglicismo (de la palabra inglesa indentation) de uso común en informática que significa mover un bloque de texto hacia la derecha insertando espacios o tabuladores para separarlo del texto adyacente, lo que en el ámbito de la imprenta se ha denominado siempre como sangrado o sangría.

En los lenguajes de programación de computadoras, la indentación se utiliza para mejorar la legibilidad del código fuente por parte de los programadores, teniendo en cuenta que los compiladores o intérpretes raramente consideran los espacios en blanco entre las sentencias de un programa. Sin embargo, en ciertos lenguajes de programación como Haskell, Occam y Python, la indentación se utiliza para delimitar la estructura del programa permitiendo establecer bloques de código.

Son frecuentes discusiones entre programadores sobre cómo o dónde usar la indentación, si es mejor usar espacios en blanco o tabuladores, ya que cada programador tiene su propio estilo.

### **Indentación en SQL**

Sentencia en el lenguaje SQL sin usar indentación:

```
SQL> insert into nombre_de_la_tabla (var1,var2,var3) values (valor1,valor2,valor3);
```

En este primer ejemplo se muestra la introducción de valores (valor1,valor2,valor3) en los campos (var1,var2,var3) de la tabla nombre\_de\_la\_tabla.

La instrucción se ejecutará de forma correcta, sin embargo, su lectura de un vistazo puede resultar confusa.

Ejemplo 1:

```
SQL> insert into nombre_de_la_tabla (var1,var2,var3)
  2 values(valor1,valor2,valor3);
```

Ejemplo 2:

```
SQL> insert into nombre_de_la_tabla
  2 (var1,var2,var3)
  3 values
  4 (valor1,valor2,valor3);
```

**ANEXO F**  
**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

AUC	Authentication Center: Centro de Autenticación.
EIR	Equipment Identity Register: Registro de Identificación de Equipo.
Erlang:	Es una unidad adimensional utilizada en telefonía como una medida estadística del volumen de tráfico.
Full Rate:	Este canal transporta información a una velocidad de 22.8 Kbps.
GoS:	El Grado de Servicio mide la dificultad de utilizar un canal cuando se requiere la comunicación.
GSM	Global System for Mobile communications: Estándar usado para las comunicaciones móviles que hace uso del chip y brinda servicios de voz y mensaje de texto. También conocido como 2G.
GMSC	Gateway MSC.
GPRS	General packet radio service: Estándar usado en las comunicaciones móviles para brindar servicios de de datos en aplicaciones como Internet, mensajes multimedia y correo electrónico, todas desde el mismo terminal. También conocido como 2.5G.
Half Rate:	Este canal transporta información a una velocidad de 1.4 Kbps.
HLR	Home Location Register: Registro de Localización Local.
IMSI	International Mobile Subscriber Identity: Identificador único en el mundo para un usuario GSM. Consta de 15 dígitos, en donde los 3 primeros se refieren al país de proveniencia del IMSI, y los 2 o 3 siguientes al operador mismo. El usuario no conoce este dato, la red sí, de hecho se usa para configuraciones de enrutamientos y filtros en el núcleo de la red.
KPI:	Indicador de Desempeño clave.
MSC	Mobile Switching Center: Centro Móvil de Conmutación.
OMC	Operation And Maintenance Center: Centro de Operación y Mantenimiento.
PIN:	Personal Identification Number. Numero personal de identificación
Roaming:	Servicio que permite a un usuario de una operadora móvil, registrarse en otra operadora móvil de otro país manteniendo su mismo número y servicios.
SIM CARD	Subscriber Identity Module. Es la tarjeta que conectada al teléfono móvil da acceso a la cobertura..
UTMS	Universal Mobile Telephone System: Tercera generación de telecomunicaciones basada en WCDMA-DS.
VLR	Visitor Location Register: Registro de Localización de Visitantes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones, [www.osiptel.gob.pe](http://www.osiptel.gob.pe).
2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe).
3. Microsoft Corporation, <http://www.microsoft.com> .
4. Unión International de Telecomunicaciones, [www.itu.org](http://www.itu.org) .
5. ITU global standard for international mobile telecommunications, [www.imt-2000.org](http://www.imt-2000.org)
6. Curso de Ericsson "GSM Overview"
7. Curso de Nokia Siemens Networks "RAN GSM Fundamentals"
8. GSM, GPRS, and EDGE performance : evolution towards 3G/UMTS / edited by Timo Halonen, Javier Romero, Juan Melero.—2nd ed.
9. GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation(Artech House mobile communications library).
10. Radio interface system planning for GSM/GPRS/UMTS / Jukka Lempiäinen,Matti Manninen, Kluwer Academic Publishers.
11. Comunicaciones móviles / Mónica Gorricho Moreno,Juan Luis Gorricho Moreno, Edicions de la Universitat Politecnica de Catalunya, SL.
12. Curso "GSM, EDGE Arquitectura y Funcionamiento", INICTEL.