CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICO - PRÁCTICOS, APLICACIONES Y SERVICIOS DE LA TECNOLOGÍA GSM

INTRODUCCIÓN

Previo a desarrollar el presente proyecto, es importante conocer acerca de la tecnología GSM, su historia, estructura de Red, funcionalidades, características y aplicaciones de esta tecnología, las mismas que se presentan a continuación para tener un concepto más claro del funcionamiento de GSM.

1.1 BREVE HISTORIA DE LA TECNOLOGÍA GSM

Durante la década de los 80's, los sistemas de telefonía celular analógicos estaban experimentando un rápido crecimiento en Europa, particularmente en Escandinava y el Reino Unido, además en Francia y Alemania. Cada país desarrolló su propio sistema el cual era incompatible con otros equipos y sistemas de operación.

En 1982 la CEPT (*Conference of European Posts and Telegraphs*) formó un grupo de estudio llamado Groupe Special Mobile (GSM) para estudiar y desarrollar un sistema móvil terrestre público paneuropeo.

El grupo GSM definió una serie de requisitos básicos para desarrollar este estándar, de los cuales a continuación se mencionan los principales:

- *Roaming* (Itinerancia) Internacional.- Permitir que las estaciones móviles puedan ser utilizadas en todos los países participantes.
- Permitir compatibilidad con otro tipo de servicios, como son los servicios relacionados con la red PSTN (*Public Switched Telephone Network*) y con la red ISDN (*Integrated Services Digital Network*).
- Soportar nuevos servicios.
- No requerir modificación significativa de las redes públicas fijas.

- Usar un sistema de señalización estandarizado internacionalmente para la interconexión de centros de conmutación y registros de localización.
- Usar recomendaciones del CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telecomunicaciones) en los planes de identificación y numeración.

En 1984, los países del norte de Europa experimentaron una aceptación y penetración en el mercado extraordinariamente superior a la prevista.

En 1986 se decide que el sistema será digital y se reserva un bloque de frecuencias en la banda de los 900MHz.

En 1987 se firma un documento denominado *Memorandum of Understanding* (MOU), el cual es un protocolo de acuerdo entre distintos países para la implementación del sistema GSM a escala Europea.

En 1989, la responsabilidad de GSM fue transferida a la ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) y la fase 1 de las especificaciones GSM fue publicada en 1990. Los servicios comerciales comenzaron a mediados de 1991, año en el cual se aprueba un *Adendum* para permitir la incorporación a este grupo de otros países, incluso no europeos.

Para 1993 existían 36 redes GSM en 22 países, con 25 países adicionales teniendo ya seleccionado o considerado GSM. Este no es solo un estándar europeo - Sur África, Australia y muchos países del este escogieron GSM. Para comienzos de 1994, existían 1,3 millones de abonados a nivel mundial.

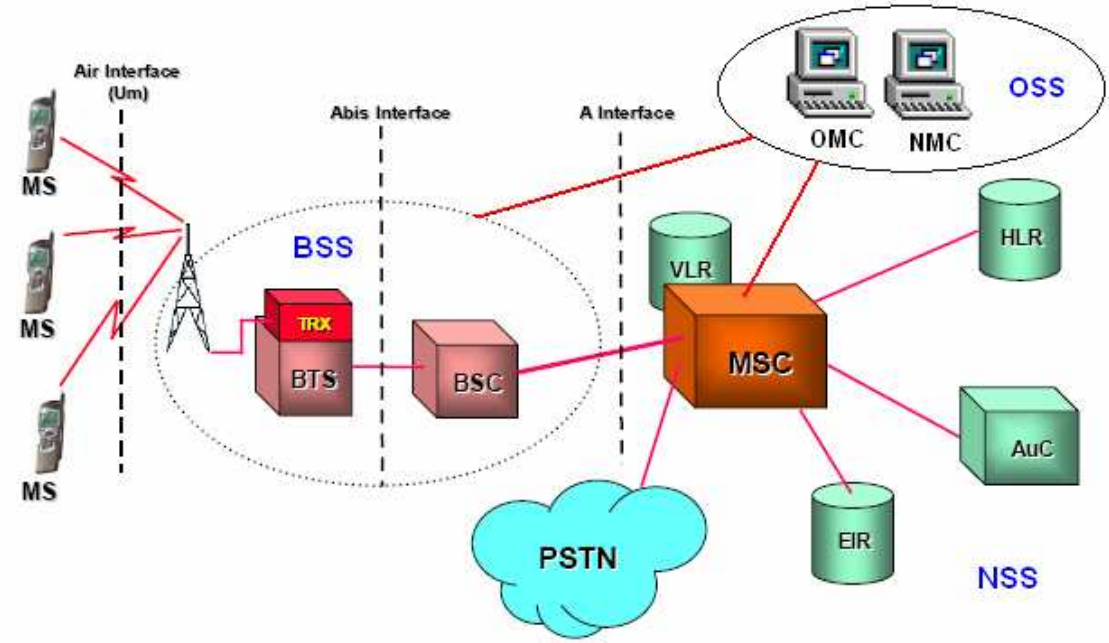
La abreviatura GSM ha sido interpretada de dos maneras, la forma más común hoy en día es Sistema Global para Telecomunicaciones Móviles (*Global System for Mobile Telecommunications*).

1.2 ARQUITECTURA DE LA RED GSM

1.2.1 ARQUITECTURA DE RED

La estructura básica del sistema GSM se organiza como una unidad de celdas radioeléctricas continuas, que proporcionan cobertura al área de servicio. El estándar GSM únicamente especifica entidades funcionales e interfaces normalizadas para permitir compatibilidad entre diferentes proveedores de equipos.

La Arquitectura de Red definida por el estándar GSM se compone por tres subsistemas principales como se indica en el siguiente gráfico:



MSC: *Mobile Switching Center*
BSC: *Base Station Controller*
BTS: *Base transceiver Station*
TRX: *Transceiver*
MS: *Mobile Station*
OMC: *Operations and Maintenance Center*
NMC: *Network Management Center*
PSTN: *Public Switched Telephone Network*
BSS: *Base Station Sub-system*
HLR: *Home Location Register*
VLR: *Visitor Location Register*
AuC: *Authentication Center*
EIR: *Equipment Identity Register*
NSS: *Network Sub - System*
OSS: *Operation Sub-System*

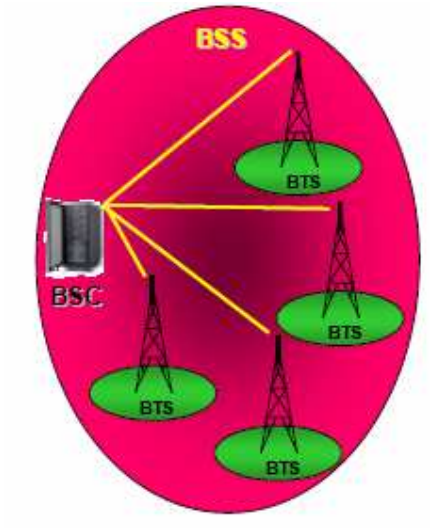
Fuente: http://www.aircom.com.uk

Figura 1.1 Arquitectura de red GSM

Los subsistemas de la red GSM están formados por:

1.2.1.1 Subsistema de Estación Base (BSS)

Este subsistema constituye la interfaz entre los terminales móviles y el subsistema de red y lo conforman el BSC y sus correspondientes BTS's, como se muestra en la siguiente figura:



Fuente: http://www.aircom.com.uk

Figura 1.2 Subsistema de Estación Base (BSS)

El Subsistema de Estación Base es una parte de la red que se ocupa de las siguientes funciones principales:

- Control de la Red de Radio
- Señalización del Interfaz Aire e Interfaz A
- Establecimiento de la conexión entre la MS y el NSS
- Gestión de la Movilidad
- Tratamiento y Transcodificación de la Voz
- Recopilación de Material Estadístico

Los elementos que la componen son:

El BSC (Controlador de Estación Base) es el elemento de red central del BSS y controla la red de radio.

La BTS (Estación Base) es un elemento de red que mantiene el interfaz Aire. Se ocupa de la señalización y cifrado del interfaz Aire y del procesamiento de la voz.

El TRX (Transcodificador) es un elemento del BSS que se ocupa de la transcodificación de la voz, es capaz de convertir voz de un formato de codificación digital a otro y viceversa.

La transmisión se considera una parte del BSS debido al hecho de que el BSS es típicamente una entidad geográfica razonablemente grande. La especificación de GSM define sólo los interfaces del equipo; por lo tanto hay una gran cantidad de alternativas para desarrollar una red de transmisión entre elementos del BSS.

1.2.1.2 Subsistema de Red (NSS)

El Subsistema de Red es una parte de la red GSM que se ocupa de las siguientes funciones:

- Control de la Llamada
- Interfuncionamiento de redes
- Datos del abonado y Gestión de los Servicios
- Tarificación
- Recogida de Material Estadístico
- Gestión de la Movilidad
- Gestión de la Seguridad
- Señalización del Interfaz A y PSTN
- Control del BSS

Los elementos que la componen son:

El MSC (Centro de Conmutación de Servicios Móviles) es el elemento principal del NSS. Es responsable del control de llamadas, funciones de control del BSS, funciones de interfuncionamiento, tarificación, estadísticas y señalización de los interfaces A y PSTN.

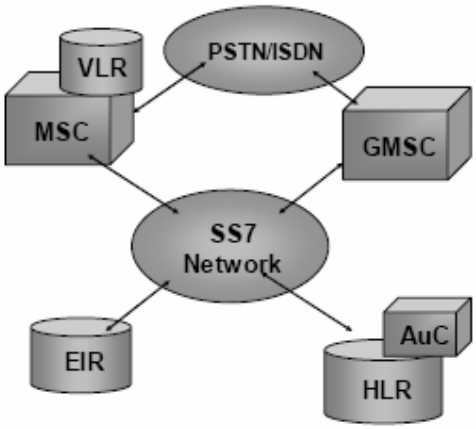
El HLR (Registro de Posición Base) es el lugar donde se almacenan permanentemente todos los datos del abonado. El HLR también da una posición

conocida fija, para la información del encaminamiento de variables. Las funciones principales del HLR son los datos del abonado y gestión de servicios, estadísticas y gestión de la movilidad.

El VLR (Registro de Posición Visitante) da memoria local para las variables y funciones necesarias para gestionar llamadas hacia y desde un abonado móvil en el área correspondiente al VLR.

El AuC (Centro de Autenticación) y el EIR (Registro de Identificación del Equipo) son elementos de la red del NSS que se ocupan de los aspectos relacionados con la seguridad. El AuC se ocupa de la información de seguridad de identidad del abonado junto con el VLR. El EIR se ocupa de la información de seguridad del equipo móvil (hardware) junto con el VLR.

En la figura 1.3 se puede apreciar los elementos que componen el NSS:



Fuente: http://www.aircom.com.uk
Figura 1.3 Subsistema de Red (NSS)

De la figura 1.3, el elemento de red GMSC no se ha mencionado antes. El GMSC (*Gateway Mobile Switching Center*) es un nodo que permite interrogar al HLR para obtener información de encaminamiento para una llamada dirigida a un móvil. Por lo tanto, es el nexo de unión de la red GSM con otras redes externas.

1.2.1.3 Subsistema de operación y apoyo (OSS)

El OSS está conformado por el OMC y por el NMC. El OMC (Centro de operación y mantenimiento) es un centro de trabajo donde se encuentra un cierto número de funciones de operación y mantenimiento que típicamente son:

- Modificación de parámetros de servicio en la MSC-VLR, HLR y BSC
- Gestión indirecta de los datos relativos a cada terminal móvil
- Registro de datos de transmisión, de trafico y de alarmas
- Registro de datos estadísticos relativos a las prestaciones de la red
- Configuración de los aparatos de la red
- Registro de los datos de tasación

El NMC (Centro de gestión de la red) junto con el OMC controla y gestiona el funcionamiento de la red.

La MS (Estación Móvil) es una combinación de terminal y abonado. El terminal en sí mismo se llama ME (Equipo Móvil) y los datos del abonado se guardan en un módulo separado llamado SIM (Módulo de Identidad del Abonado). Por tanto, ME + SIM = MS. La SIM es una “tarjeta inteligente” que puede utilizarse con cualquier estación móvil portátil.

El IMSI (Identificador de Terminal Móvil Internacional), memorizado en la tarjeta inteligente, sirve al operador de GSM para identificar al abonado en la red.

1.3 SERVICIOS Y APLICACIONES GSM

Las redes de comunicaciones están desarrollándose constantemente, lo cual conlleva a que los usuarios tengan a su disposición mayores y mejores servicios, cuyos requerimientos van en aumento conforme al avance de la sociedad actual, para satisfacer dichos requerimientos se han desplegado redes digitales como GSM, la misma que va incorporando paulatinamente nuevos servicios.

1.3.1 SERVICIOS QUE OFRECE AL USUARIO

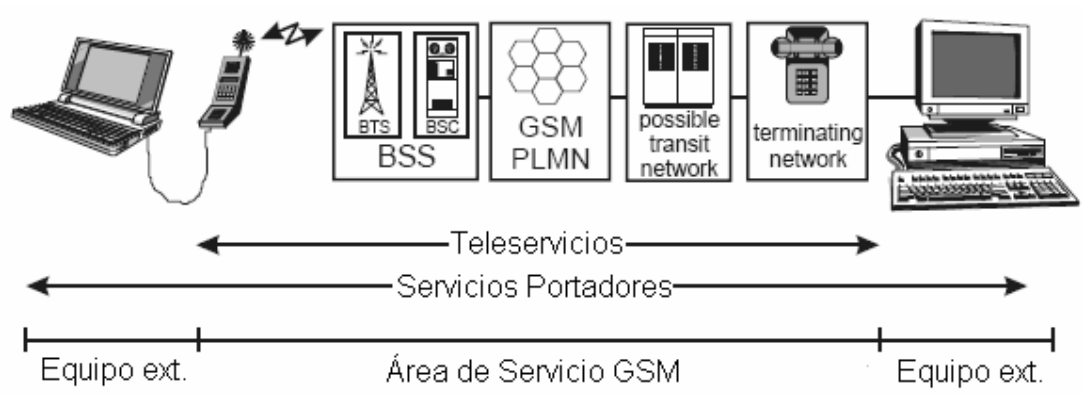
El estándar GSM define algunos tipos de servicios que pueden ser organizados en dos grupos:

- Servicios básicos
- Servicios suplementarios

1.3.1.1 Servicios Básicos

Los servicios básicos de telecomunicación que GSM ofrece a los usuarios se dividen en dos categorías principales:

- Teleservicios: aquellos que permiten al abonado comunicarse con otro abonado.
- Servicios Portadores: permiten al abonado móvil el envío de datos. Estos servicios le dan al abonado la capacidad necesaria para transmitir señales de información entre dos o más puntos de acceso.



Fuente: GSM AND PERSONAL COMMUNICACTIONS HANDBOOK. Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant

Figura 1.4 Teleservicios y Servicios Portadores

Algunos de los Teleservicios básicos que la red GSM ofrece son:

- **Voz:** capacidad de recibir y de enviar llamadas hacia o desde todo el mundo tanto con abonados fijos como con abonados móviles.
- **Llamadas de emergencia:** posibilita al abonado hacer llamadas de emergencia pulsando un botón aún sin contar con la tarjeta SIM.

- Transmisión de Fax.
- **Servicios de mensajes cortos (SMS):** es posible enviar un mensaje de hasta 160 caracteres desde y hacia un terminal móvil. Si el móvil no está conectado o fuera de cobertura, el mensaje se almacena en la central de mensajes hasta que el abonado se conecte, avisándoles de la existencia de dicho mensaje. Utiliza una modalidad *Store & Forward* (Almacenamiento y envío).

  El terminal que genera el mensaje se comunica con el terminal que recibe con un retardo temporal introducido por la memorización del mismo en una base de datos, por lo que la entrega del mensaje no es en tiempo real. Utiliza el *signaling path* (ruta de señalización) de la red GSM.
- **Roaming:**

  La palabra *roaming* significa moverse alrededor de, caminar.

  Esta palabra fue adoptada para ser usada en telefonía celular para describir el efecto que el abonado móvil pueda moverse de un área de servicio a otra mientras está utilizando el mismo móvil. El servicio a los abonados móviles visitantes puede ser brindado automáticamente o con asistencia de operadora. Esto indica dos tipos de *roaming*:

  - *Roaming* Automático

  - *Roaming* Manual

  Cuando se usa el *roaming*, los MSCs proveerán de servicio al visitante y son llamados MSCs cooperantes. En caso de *roaming* automático, la transferencia de información entre MSCs, llamada señalización de *roaming* (señalización MSC) entra en acción.

  Desde el punto de vista del MSC, los abonados que están suscritos a este MSC están considerados como abonados propios y el MSC es su central de casa (MSC-H). Los abonados propios residen normalmente en el área de servicio de este MSC. Los abonados localizados en el área de servicio de un MSC cooperante son considerados como abonados *roaming* (roamers-errantes). Desde el punto de vista del MSC, los abonados suscritos a otro MSC pero que comúnmente se encuentran en el área de

servicio del MSC en cuestión son considerados como abonados visitantes y el MSC es la central visitada (MSC-V).

Para el enrutamiento de llamadas (en la red celular y algunas veces con la PSTN) para un abonado *roaming*, se emplea un número *roaming* (RN). Se especifica inicialmente una serie de números *roaming* en el MSC como series de números interna. Cuando un nuevo visitante aparece, un número *roaming* es tomado y asignado como el número de la estación móvil del visitante (durante su presencia). Las llamadas desde los visitantes se manejan en la misma forma que las llamadas de los propios abonados.

Un abonado suscrito en un MSC así como en otro(s) MSC(s) es llamado abonado no residente. Un abonado no residente puede ser localizado con diferentes números de abonado, dependiendo de la posición esperada. El sistema no tiene ninguna información acerca de la localización del abonado.

- **Buzón de voz:** consiste de un contestador incorporado en la red y controlado por el abonado. Las llamadas pueden ser desviadas al buzón del abonado accediendo posteriormente a él con un código personal.
- **Buzón de fax:** permite al usuario recibir mensajes de fax en cualquier máquina a través de su móvil.
- **Voz y fax alternados:** permite que durante una llamada el abonado intercambie entre voz y fax. Se puede conmutar varias veces.

Entre los servicios portadores básicos; que soportan la transmisión de datos síncronos y asíncronos a velocidades de hasta 9.6Kbit/s, se pueden distinguir los siguientes:

- Tráfico hacia la red telefónica (PSTN): para enviar el tráfico de datos hacia la red pública es necesario seleccionar un módem.
- Tráfico hacia la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN).

- Acceso a otras redes de datos asíncronos: soporta tráfico hacia las redes públicas de conmutación de paquetes y conmutación de circuitos, necesitando un interfaz en función de cada propósito.
- Transmisión de información a distintas velocidades – comunicación de datos dúplex con conmutación de circuitos síncrona y asíncrona, 300 a 9600 bps.
- Acceso a funciones de PAD (*Packet Assembler/Disassembler*) para comunicación asíncrona, 300 a 9600 bps.
- Acceso de redes públicas de datos, protocolo X.25, servicio de conmutación de paquetes para comunicación de datos dúplex, 200 a 9600 bps.
- Transmisión de voz y datos durante una llamada (*Speech & Data Swapping*), envío alterno de voz y datos.
- Selección de módem, selección de servicios de audio de 3.1 KHz cuando se conecte a la ISDN.
- Soporte de Solicitud Automática de Retransmisión (ARQ, *Automatic Request for Retransmisión*) para mejorar la tasa de errores, modo transparente (Con ARQ) y modo no transparente (No ARQ).

1.3.1.2 Servicios Suplementarios

Estos servicios modifican o complementan los servicios básicos de telecomunicaciones. Se ofrecen junto con o asociados con los servicios básicos de telecomunicaciones y se clasifican en los siguientes tipos de servicios:

- **Servicios de Identificación de números**
  - ✓ Soporta CNIP (*Calling Number Identification Presentation*): muestra en pantalla el número del abonado que llama.
  - ✓ CNIR (*Calling Number Identification Restriction*): desactiva el CNIP del abonado A.
  - ✓ CNOP (*Connected Number Identification Presentation*).
  - ✓ CNOR (*Connected Number Identification Restriction*).
  - ✓ MCI (*Malicious Call Identification*).

- **Servicios de Ofrecimiento de Llamadas**
  - ✓ CFU (*Call Forwarding Unconditional*): las llamadas entrantes al abonado se rutean automáticamente a otro número.
  - ✓ CFB (*Call Forwarding Mobile Busy*): las llamadas entrantes se rutean a otro número si el abonado está ocupado (llamada en progreso).
  - ✓ CFNRy (*Call Forwarding No Reply*): las llamadas entrantes se rutean a otro número si el abonado no responde.
  - ✓ CFNRc (*Call Forwarding Mobile Not Reachable*): las llamadas entrantes se rutean a otro número si el móvil está fuera del área de servicio o apagado.
  - ✓ CT (*Call Transfer*): la llamada actual (en progreso) se puede transferir a otro número.
  - ✓ MAH (*Mobile Access Hunting*).

- **Servicios de completamiento de llamadas**
  - ✓ CW (*Call Waiting*): llamada en espera.
  - ✓ CH (*Call Holding*): permite a una unidad móvil GSM recibir una segunda llamada mientras está en curso otra, el abonado puede conmutar a la segunda llamada mientras deja a la primera llamada en espera.
  - ✓ CCBS (*Completion of Call to Busy Subscriber*): el abonado (A) puede solicitar que el sistema monitoree el estado (*status*) de un teléfono (abonado B) al cual trató de llamar y estaba ocupado y que se complete la llamada cuando el abonado B se desocupe.

- **Servicios Multi-usuario**
  - ✓ 3PTY (*Three-Party Service*): permite a un móvil unir dos llamadas más para una comunicación simultánea entre tres abonados.
  - ✓ CONF (*Conference Calling*): permite a un móvil de GSM tener comunicación simultánea con entre 3 y 5 abonados más.

- **Servicios de Interés Comunitario**
  - ✓ CUG (*Closed User Group*): varios usuarios de GSM pueden formar grupos a los cuales habría un acceso restringido. Un abonado específico puede pertenecer a uno o más CUG. Los miembros de un CUG pueden comunicarse entre ellos, pero no con usuarios que no pertenezcan al CUG.

- **Servicios de Cobro**
  - ✓ AoC (*Advice of Charge*): este servicio proporciona información al abonado acerca del cobro asociado con una llamada específica. El costo mostrado en el display en ese momento podría variar.
  - ✓ FPH (*Freephone Service*): el abonado que contrate este servicio pagará todas las llamadas que entren a su número. Similar al 1-800.
  - ✓ REV (*Reverse Charging*): este servicio permite a un abonado GSM pagar por las llamadas entrantes, a tarifas especiales.

- **Servicios de Transferencia Adicional de Información**
  - ✓ UUS (*User-to-User Signaling*): permite a un móvil enviar datos a otra unidad móvil o a un número de ISDN.

- **Servicios de Restricción de Llamadas**
  - ✓ BAOC (*Barring All Originating Calls*): evita que salgan llamadas de la unidad móvil, pero sí permite que entren llamadas.
  - ✓ BOIC (*Barring Outgoing International Calls*): evita que salgan llamadas internacionales de la unidad móvil, pero sí permite que salgan llamadas locales y nacionales y permite recibir cualquier tipo de llamadas.
  - ✓ BOIC-exHC (*BOIC except Home Country*): cuando la unidad móvil está en roaming, no puede realizar llamadas internacionales, excepto al país de origen, pero sí permite que salgan llamadas locales y nacionales y permite recibir cualquier tipo de llamadas.
  - ✓ BAIC (*Barring All Incoming Calls*): opuesto a BAOC, permite que salga cualquier tipo de llamadas, pero evita que entre cualquier llamada.

- ✓ BIC-Roam (*Barring Incoming Calls When Roaming*): cuando la unidad móvil está en roaming, no puede recibir llamadas de ningún tipo, pero sí puede realizar cualquier tipo de llamadas. Similar a BAIC, pero sólo cuando el móvil está en roaming.

- **USSD (*Unstructured Supplementary Services Data*)**

  Es un medio de transmitir información o instrucciones por una red GSM. USSD tiene algunas similitudes con el SMS (ambos utilizan el *signaling path* de la red GSM). Como diferencia, el USSD no es un servicio de almacenamiento y envío, es una sesión-orientada tal que cuando un usuario accede a algún servicio USSD, se establece una sesión y la conexión de radio permanece abierta hasta que el usuario, la aplicación o el paso del tiempo la libera. Los mensajes de texto USSD pueden superar los 182 caracteres de longitud.

  USSD tiene algunas ventajas y desventajas como herramienta de despliegue de servicios en redes móviles:

- o Los tiempos de respuesta para aplicaciones interactivas son más cortos para USSD que para SMS debido a las características de una sesión de USSD y porque no es un servicio de almacenamiento y envío. USSD puede ser hasta 7 veces más rápido que un SMS para llevar a cabo la misma transacción en ambos sentidos.
- o Los usuarios no necesitan ir a ningún menú particular del teléfono para acceder a servicios USSD, ya que pueden desde la pantalla inicial del móvil acceder a los mismos.
- o Debido a que los comandos USSD son dirigidos de vuelta hacia el HLR (*Home Location Register*), los servicios basados en USSD trabajan igual de bien y de la misma forma cuando los usuarios están en *roaming*.
- o USSD funciona en todos los teléfonos móviles GSM.
- o Tanto la aplicación SIM *Toolkit* (equipo de herramientas) como WAP (*Wireless Access Protocol*) soportan USSD.

- Por otro lado, los códigos USSD son normalmente complicados de recordar, incluyendo el uso de los caracteres "*" y "#" para indicar el principio y el final del código USSD. Sin embargo, la posibilidad de almacenar los códigos USSD de servicios que se usan regularmente en la agenda del teléfono, reduce la necesidad de recordarlos, así como de tener que introducirlos de nuevo.

1.3.2 CARACTERÍSTICAS DE GSM FASE 1

A continuación se mencionan los servicios principales que ofrece la Fase 1 de GSM:

- Expedición de llamada (*call forwarding*)
- Todas las llamadas (*all calls*)
- No responder (*no answer*)
- Dedicado (*engaged*)
- Inalcanzable (*unreachable*)
- Llamada salvo (*call barring*) .
- Saliente – excluir ciertas llamadas salientes (*outgoing*)
- Entrante – excluir ciertas llamadas entrantes (*incoming*)
- Roaming global

1.3.3 CARACTERÍSTICAS DE GSM FASE 2 (1995)

Los principales servicios que ofrece la fase 2 de GSM son:

- SMS – permite enviar mensajes de teléfono a teléfono.
- *Multi party calling* – permite hablar con cinco personas más al mismo tiempo.
- *Call holding* – permite retener una llamada.
- *Call waiting* – notifica otra llamada entrante durante una llamada.
- *Mobile data services* – permite a los móviles comunicarse con computadoras.

- *Mobile fax service* – permite a los móviles mandar, recuperar y recibir faxes.
- Servicio de identificador de llamadas.
- Aviso de cargos.
- *Broadcast* de celda – permite subscribirse a nuevos números locales.
- *Mobile terminating fax* – otro número que tiene asignado recibe faxes que después pueden ser impresos en una máquina de fax.

1.3.4 CARACTERÍSTICAS DE GSM FASE 2 + (1997)

Los principales servicios que ofrece la fase 2+ de GSM son:

- Mejoras y actualizaciones a los servicios existentes.
- La mayor parte de la actualización concierne a la actualización de datos, incluyendo servicios portadores y paquetes de datos conmutados a 64Kbps y más.
- Acceso DECT a GSM.
- PMR/PAMR (*Public Access Mobile Radio*) – capacidades semejantes.
- GSM en el lazo local (*local loop*).
- Redes privadas virtuales.
- *Packet* radio.
- Incremento SIM.
- Servicios de velocidad de gran valor.

1.3.4.1 GPRS (*General Packet Radio Service*)

Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación (GSM) y la tercera (UMTS). Proporciona altas velocidades de transferencia de datos (especialmente útil para conectar a Internet) y se utiliza en las redes GSM.

GPRS es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM (donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado) a la conmutación de paquetes.

GPRS es básicamente una comunicación basada en paquetes de datos. Los *time slots* (ranuras de tiempo) se asignan en GSM generalmente mediante una conexión conmutada, pero en GPRS los intervalos de tiempo se asignan a la conexión de paquetes, mediante un sistema basado en la necesidad. Esto significa que si no se envía ningún dato por el usuario, las frecuencias quedan libres para ser utilizadas por otros usuarios.

Ya que la conmutación es por paquetes, esto permite fundamentalmente la compartición de los recursos de radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información, todo el tiempo que esté inactivo, la red podrá ser utilizada por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin miedo a saturar la red, de forma que mientras en GSM sólo se ocupa un canal de subida de datos del terminal a la red y otro canal de bajada de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de bajada y dos de subida, pasando de velocidades de 9,6 Kbps en GSM a 40 Kbps en bajada en GRPS y 20 Kbps de subida. Además, se puede recibir simultáneamente voz y datos (terminales clase A) alcanzando velocidades de hasta 171.2 Kbps. También incorpora un *Backbone* para transmisión de datos en modo paquete, paralelo al modo circuito.

Otra ventaja de la conmutación de paquetes es que, al ocuparse los recursos sólo cuando se transmite o recibe información, la tarificación por parte del operador de telefonía móvil sólo se produce por la información transmitida, no por el tiempo de conexión. Esto hace posible aplicaciones en la que un dispositivo móvil se conecta a la red y permanece conectado durante un periodo prolongado de tiempo sin que ello afecte en gran medida a la cantidad facturada por el operador.

1.3.4.1.1 Arquitectura GPRS

GPRS siempre ha tratado de reutilizar los elementos del sistema GSM existentes pero de manera efectiva. Para construir un sistema celular móvil basado en paquetes de información, se requieren de nuevos elementos como: elementos del sistema, interfaces y protocolos que sostengan el tráfico de paquetes requerido.

Así, GPRS requiere modificaciones de numerosos elementos que quedan resumidos en la siguiente tabla:

GSM Network Element	Modificaciones o mejoras requeridas para GPRS
***Terminal Equipment* (TE)**	Se requiere un nuevo terminal de abonado para servicios de acceso GPRS. Estos nuevos terminales serán compatibles con GSM para llamadas de voz.
BTS	Una actualización del software es necesaria en las bases transmisoras existentes. (BTS)
BSC	La *Base Station Controller* (BSC) también requirirá una actualización del software llamado *Packet Control Unit* (PCU). El PCU dirige el tráfico de datos al sistema GPRS y puede ser un elemento de hardware separado, asociado al BSC.
Core Network	El desarrollo de GPRS requiere la intalación de nuevos elementos de la red core llamados *Serving GPRS Support Node* (SGSN) y *Gateway GPRS Support Node* (GGSN).
Bases de Datos (VLR, HLR y otras)	Todas las bases de datos involucradas en el sistema requerirán actualizaciones de software para sostener los nuevos modelos de llamadas y las funciones introducidas por GPRS.

Tabla 1.1 Elementos de la arquitectura GPRS.

Los 2 elementos fundamentales de la arquitectura GPRS son: el SGSN y el GGSN.

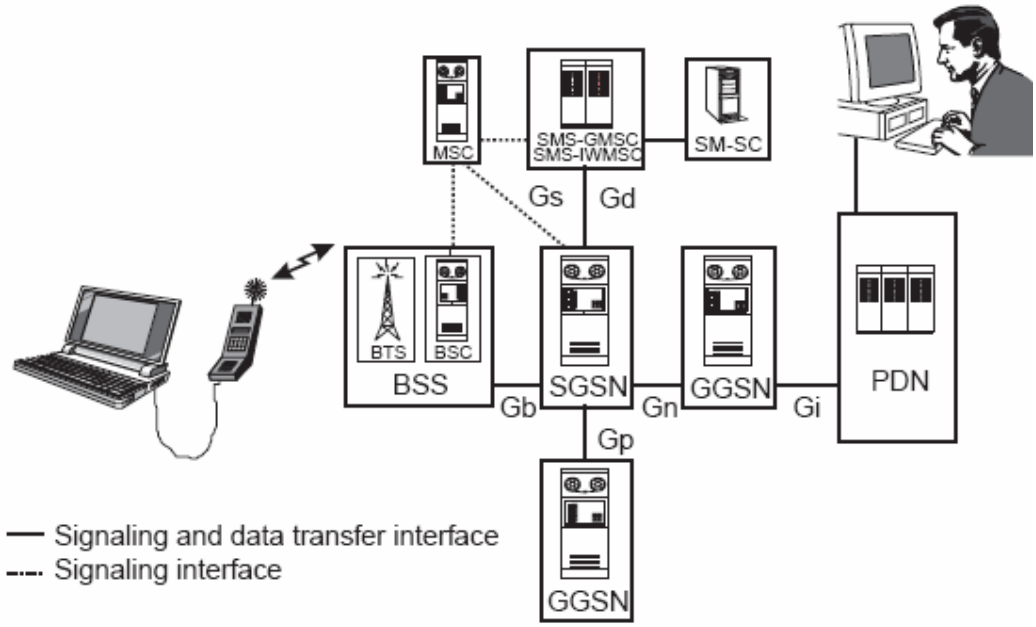
• **SGSN (*Serving GPRS Support Node*)**

- ✓ Es el elemento que gestiona todas las funciones de movilidad, autenticación y registro en la red de las estaciones móviles.
- ✓ Está conectado al BSC y es el punto de acceso a la red GPRS cuando un terminal solicita este servicio.
- ✓ Cuando una estación quiere enviar/recibir datos hacia o desde redes externas, el SGSN intercambia los datos con el pertinente GGSN y encapsula los paquetes.

• **GGSN (*Gateway GPRS Support Node*)**

- ✓ Se conecta a redes externas como Internet o X.25.

- ✓ Es un dispositivo de encaminamiento hacia una subred ya que hace que la infraestructura de la red GPRS sea transparente vista desde fuera.
- ✓ Cuando recibe datos dirigidos hacia un usuario específico, comprueba si la dirección está activa y en caso afirmativo envía los datos al SGSN.
- ✓ Encamina hacia la red correspondiente los datos que origina el móvil.



MSC: *Mobile Switching Center*
BTS: *Base transceiver Station*
BSC: *Base Station Controller*
BSS: *Base Station Sub-system*
SGSN: *Serving GPRS Support Node*
GGSN: *Gateway GPRS Support Node*
PDN: *Public Digital Network*
SMS-GMSC: *Short Message Service-Gateway Mobile-services-Switching Center*
SMS-IWMSC: *Short Message Service-Interworking MSC*

Fuente: GSM AND PERSONAL COMMUNICACTIONS HANDBOOK. Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant

Figura 1.5 Arquitectura GPRS

De la fig. 1.5 se debe señalar que el Gs, Gd, Gb, Gp, Gn y Gi constituyen las interfaces del sistema GPRS, donde:

Gs: Interfaz entre el SGSN y la MSC/VLR

Gd: Interfaz entre la SMS-*Gateway* (SMS-SGSN) y el SGSN

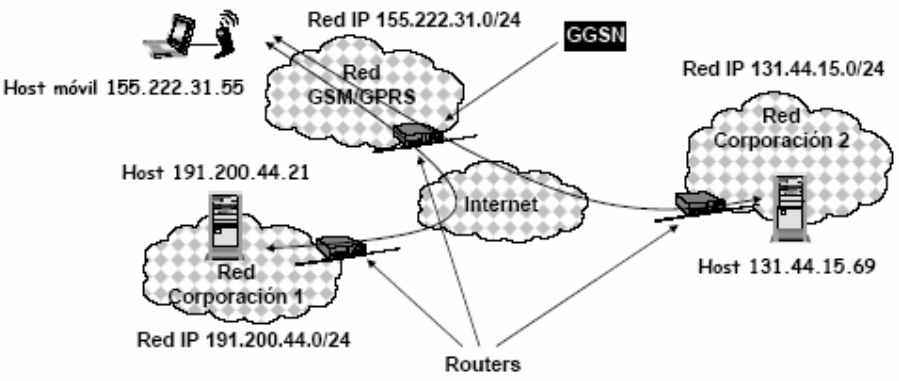
Gb: Interfaz que conecta la BSC al SGSN

Gp: Interfaz definida entre dos GSNs de diferentes PLMN

Gn: Interfaz usada entre GSNs de la misma PLMN

Gi: Interfaz que conecta el GGSN a redes externas PDN (Ej. X.25 o IP)

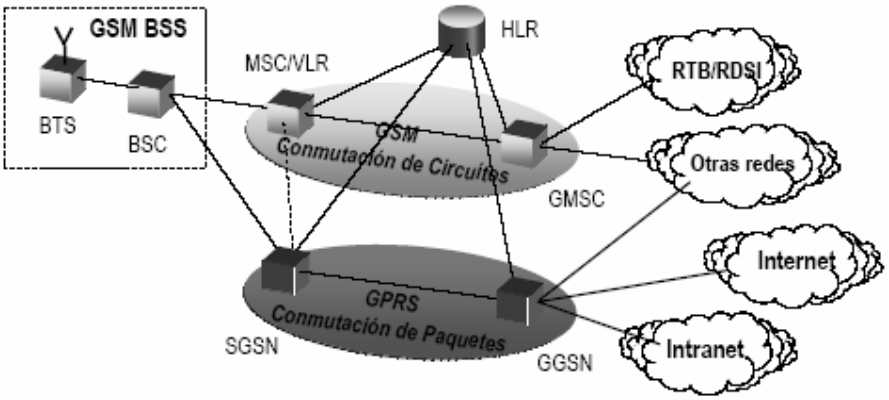
El GGSN se comporta como un *router* (ruteador), de forma que oculta las características especiales de la red GPRS desde el punto de vista de la red externa, como se muestra en el siguiente gráfico:



Fuente: http://www.fdi.ucm.es/profesor/jseptien/WEB/Docencia/AVRED/Documentos/Tema6.pdf

Figura 1.6 Arquitectura de conexiones al GGSN

La red GPRS es una nueva red de *Conmutación de Paquetes* que se superpone y convive con la actual estructura de *Conmutación de Circuitos* propia de GSM.



Fuente: http://www.fdi.ucm.es/profesor/jseptien/WEB/Docencia/AVRED/Documentos/Tema6.pdf

Figura 1.7 Arquitectura conjunta GSM/GPRS

1.3.4.1.2 Servicios

Para muchos de estos requerimientos que son hechos en comunicaciones móviles actualmente y para un futuro cercano las soluciones están siendo desarrolladas en GSM fase 2+. Nuevos servicios específicos de voz y datos,

mayor eficiencia y estaciones móviles amigables para el usuario, la posibilidad de la creación flexible de características para grupos de usuarios particulares.

- Transferencia de datos
  - ✓ PTP: Transferencia entre dos usuarios
    - o CL: Tráfico de ráfagas no interactivo (IP o CLNP)
    - o CO: Tráfico de ráfagas interactivo (X.25 o CONP)
  - ✓ PTM: Transferencia de un usuario a múltiples usuarios
    - o PTM-SC: PTM Service Center : incluido en SGSN
    - o PTM-Multicast o PTM-Group
  - ✓ SMS: Requiere conectar SMS-GMSC a SGSN
- Transferencia rápida de grandes volúmenes de datos (E-mail, Internet, transferencia de archivos, multimedia)
- Mejoramiento de la calidad de voz
- Amigable para el usuario
- Disponibilidad de *Worldwide*
- Servicio *Worldwide* HPLMN
- Servicios específicos

1.3.4.1.3 Clases de terminales móviles

- **CLASE C**

El terminal sólo puede usarse para datos o para voz (pero no ambos) en función de la configuración elegida. Un ejemplo de este tipo de terminales son las tarjetas PCMCIA para computadoras portátiles.

- **CLASE B**

Pueden enviar/recibir datos o voz, pero no de manera simultánea. Generalmente, si se está utilizando GPRS y se recibe una llamada de voz existirá la posibilidad de contestarla o de seguir con la comunicación de datos.

- **CLASE A**

Tienen dos transceptores que les permiten enviar/recibir datos y voz de manera simultánea. Aprovechan todas las posibilidades de GSM y GPRS. El usuario puede hacer y recibir llamadas en los dos tipos de servicio sin interrupción de ninguno de ellos.

1.3.4.1.4 Canales lógicos

Análogos a los canales de GSM, con el prefijo P para indicar que transportan tráfico de paquetes.

- Canales comunes:
  - PBCCH: BCCH (Broadcast Control Channel) en GSM.
  - PCCCH: CCCH (Common Control Channel) en GSM.
- Canales de datos:
  - PDTCH: TCH (Traffic Channel) en GSM.
- Canales de control:

  PACCH: ACCH (Associated Control Channel) en GSM.

  PTCCH: (Packet Time advance Control CHannel).

1.3.4.2 EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*)

Es una tecnología de la telefonía móvil celular, que actúa como puente entre las redes 2G y 2.5G. EDGE se considera una evolución del GPRS (*General Packet Radio Service*). Esta tecnología funciona con redes TDMA (*Time Division Multiple Access*) y GSM. Aunque EDGE funciona con cualquier GSM que tenga implementado GPRS, el operador debe implementar las actualizaciones necesarias, además no todos los teléfonos móviles soportan esta tecnología.

EDGE, o EGPRS puede ser usado en cualquier transferencia de datos basada en conmutación por paquetes (*Packet Switched*), como lo es la conexión a Internet. Los beneficios de EDGE sobre GPRS se pueden ver en las aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos o ancho de banda alta como video y otros servicios multimedia.

EDGE presenta tres beneficios principales que son:

- Con un *throughput* (velocidad efectiva) de datos promedio de 110-130 Kbps que es aproximadamente tres veces más veloz que el servicio por discado y un *throughput* pico de 473 Kbps, EDGE soporta una amplia variedad de servicios de datos, entre ellos mensajería de texto y multimedia, acceso a Internet y *streaming* de audio y video.
- EDGE es tan eficiente en espectro como otras tecnologías de 3G competidoras y puede desplegarse dentro del espectro existente del operador.
- El despliegue de EDGE generalmente implica una simple actualización que requiere únicamente software y tarjetas de canales adicionales para la infraestructura de la red GSM/GPRS existente. Este diseño hace de EDGE una manera costo-efectiva de ofrecer servicios avanzados, permitiendo así a los operadores EDGE fijar precios competitivos para sus servicios.

Además de usar la modulación GMSK (*Gaussian Minimum-Shift Keying*), EDGE usa la modulación 8PSK (8 *Phase Shift Keying*) para los cinco niveles superiores de nueve esquemas totales de modulación y codificación. Esto produce una palabra de 3 bits por cada cambio en la fase de la portadora. Con esto se triplica el ancho de banda disponible que brinda GSM. Al igual que GPRS, EDGE usa un algoritmo de adaptación de tasas, que adapta el esquema de modulación y codificación (MCS) usado para la calidad del canal de radio y así el índice binario (*bit rate*) y la robustez de la transmisión de datos. EDGE agrega una nueva tecnología que no se encuentra en GPRS la Redundancia Incremental, la cual en lugar de re-transmitir los paquetes de información alterados, envía más información redundante que se combina en el receptor lo cual incrementa la probabilidad de decodificación correcta.

Aunque la tecnología UMTS es de mayor capacidad de transferencia y cronológicamente más reciente, sus altos costos de implementación y poco apoyo, hacen que una buena cantidad de operadores de telefonía móvil celular tengan implementada la tecnología EDGE, dominando el mercado global de las comunicaciones GSM/GPRS.

Para la implementación de EDGE por parte de un operador, la red principal o *core network* no necesita ser modificada, sin embargo las estaciones base BTS sí deben serlo. Se deben instalar transceptores compatibles con EDGE, además de nuevas terminales (teléfonos) y un software que pueda decodificar/codificar los nuevos esquemas de modulación.

1.4 INTERFAZ DE RADIO

La interfaz aire para GSM se conoce como interfaz Um, a través de esta interfaz se conectan las estaciones móviles con la red GSM, para ello se utilizan las estaciones base como punto de conexión con la red.

La Interfaz Aire tiene las siguientes funciones principales:

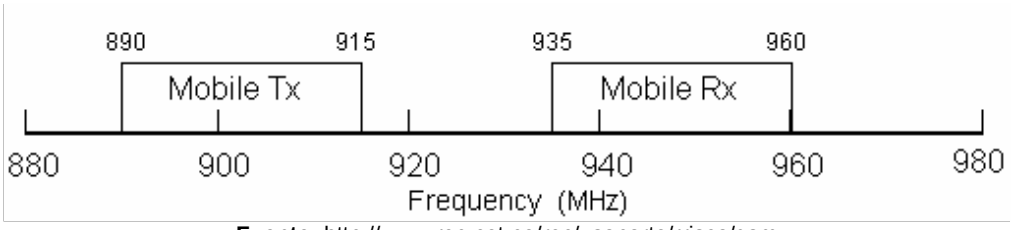
- Transporte de canales de tráfico (voz, datos, SMS) e información de mantenimiento del canal.
- Mecanismo para solicitar un canal aleatoriamente.
- Mecanismo para que el móvil sea avisado de comunicaciones entrantes.
- Soportar la sincronización con la BTS servidora en frecuencia y tiempo.
- Soportar el monitoreo del nivel de potencia de otras radio bases para el *handover* (transferencia).
- Transporte de información del sistema.
- Minimizar interferencias y *fading* (desvanecimiento).
- Protección de los datos frente a errores (codificación) e intrusos (cifrado).

1.4.1 BANDAS DE FRECUENCIA DE LOS SISTEMAS GSM

GSM-900

Tiene 124 canales en dos sub-bandas de 25 MHz c/u en los rangos 890 MHz-915 MHz y 935 MHz-960 MHz, con BW (Ancho de banda) por canal de 200 KHz. Cada portadora se divide en *frames* (tramas) donde cada trama tiene 8 *time slots* (intervalos de tiempo), con una duración de trama de 4.6 ms. Separación entre la portadora del *Down Link* (enlace de bajada) y del *Up Link* (enlace de subida): 45

MHz. En la siguiente fig. se muestra la distribución de frecuencia en GSM-900 tanto para el *uplink* como para el *downlink*

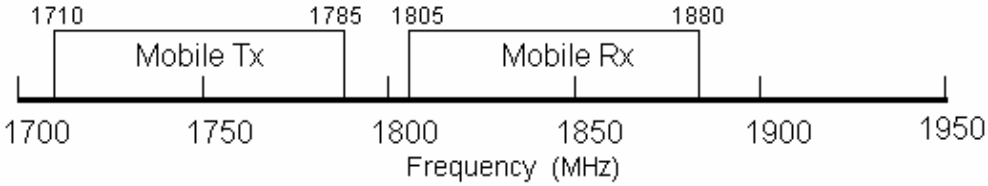


Fuente: http://www.rcp.net.pe/rcp/_soporte/rrisco/gsm

Figura 1.8 Banda de frecuencia GSM 900 MHz

DCS-1800

Tiene 374 canales en dos sub-bandas de 75 MHz c/u en los rangos 1710Mhz-1785 MHz y 1805 MHz – 1880 MHz, con BW por canal de 200 KHz. Separación entre la portadora del *Down Link* y del *Up Link*: 75 MHz. En la fig. 1.9 se muestra la distribución de frecuencia en DCS-1800 tanto para el *uplink* como para el *downlink*

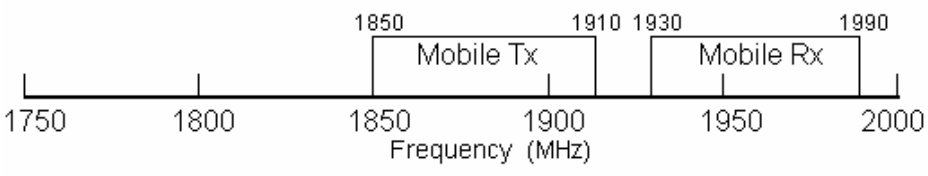


Fuente: http://www.rcp.net.pe/rcp/_soporte/rrisco/gsm

Figura 1.9 Banda de frecuencia DCS 1800 MHz

PCS-1900

Tiene 374 canales en dos sub-bandas de 75 MHz c/u en los rangos 1850MHz-1925 MHz y 1930 MHz – 2005 MHz, con BW por canal de 200 Khz. Separación entre la portadora del *Down Link* y del *Up Link*: 75 MHz. En USA se asignó parte del rango de la banda de 1800 MHz a aplicaciones de comunicaciones punto a punto. En la siguiente fig. se muestra la distribución de frecuencia para PCS-1900 tanto para el *uplink* como para el *downlink*



Fuente: http://www.rcp.net.pe/rcp/_soporte/rrisco/gsm

Figura 1.10 Banda de frecuencia PCS 1900 MHz

1.4.2 CANALES GSM

En GSM se hace referencia a dos tipos de canales:

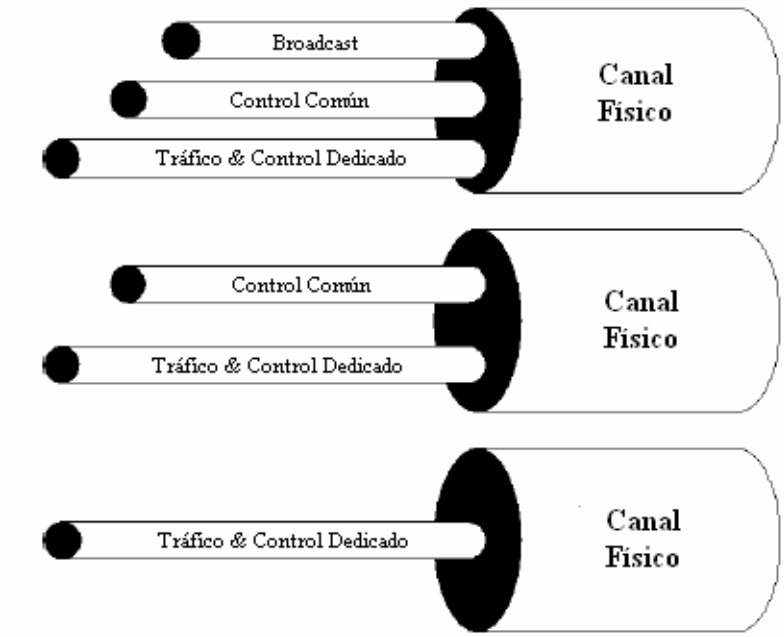
- Canales Físicos.- El recurso físico disponible para usar.
- Canales Lógicos.- Las diferentes formas en las que se usa el recurso.

Un canal físico puede tener varios canales lógicos.

GSM distingue entre canales físicos (las ranuras de tiempo) y canales lógicos (la información portada por los canales físicos). Una ranura de tiempo en una portadora constituyen un canal físico el cual es usado por diferentes canales lógicos para transferir información, tanto de señalización como del usuario. Existen dos tipos de canales lógicos en GSM: Los canales de tráfico *(TCH-Traffic Channels)*, que transportan información (voz o datos) del usuario y los canales de control *(CCH-Control Channels)*, que transportan señalización y sincronización entre la estación base y la estación móvil. Sus funciones y formas varían según el enlace.

1.4.2.1 Canales Físicos

Usando técnicas FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) y TDMA (*Time Division Multiple Access*) cada portadora se divide en 8 *time slots*. Por lo tanto se puede decir que un canal físico es una combinación de *time slot* y frecuencia de portadora (un canal de RF-Radio Frecuencia soporta 8 canales físicos en ranuras de tiempo: 0, 1, 2,…,7 –GSM–).



Fuente: http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo3.pdf

Figura 1.11 Mapeo de canales lógicos a físicos

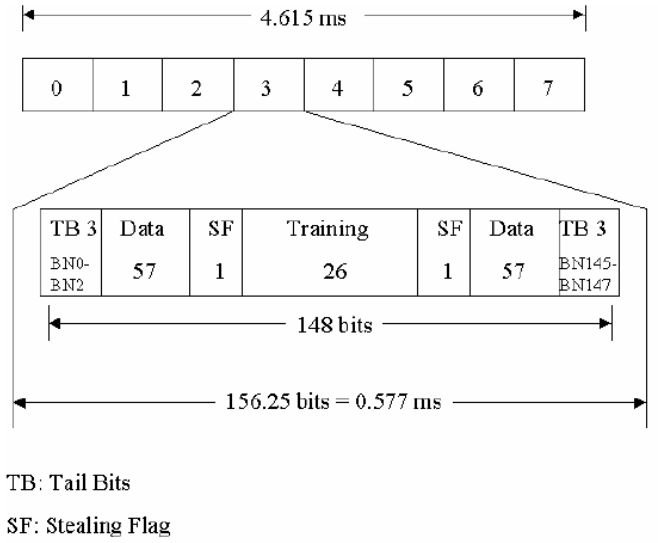
1.4.2.1.1 Burst (Ráfaga)

En GSM usando FDMA y TDMA para acceso múltiple, la transmisión de datos no es continuamente. En cada *Time Slot* TS la HF (*High Frequency*) tiene que estar en alto, el dato es transmitido brevemente y luego la transmisión HF es puesta en bajo nuevamente. Este tipo de transmisión HF es llamada “pulso” u operación *bursty*. Por lo tanto el contenido de un *time slot* es llamado *burst*.

La velocidad de bit que modula una portadora GSM es de 270.838 Kbits/seg, significando un intervalo de 577 useg que corresponde a una duración de 156.25 bits. Se denomina *burst* a esta ráfaga o secuencia de datos de extensión 156.25 bits. El *burst* está compuesto de una parte útil y una de guarda. La primera contiene los datos para ser transmitidos, una secuencia de entrenamiento y una cola de bits. En la segunda, en el periodo de guarda no se transmite nada y su propósito es permitir una variación en el tiempo de llegada del *burst* sin que se solapen las partes útiles de los *burst* adyacentes.

Se definen cinco tipos de *burst* en el sistema GSM. Cuatro de ellos son de duración completa (156.25 bits) y otro es más corto:

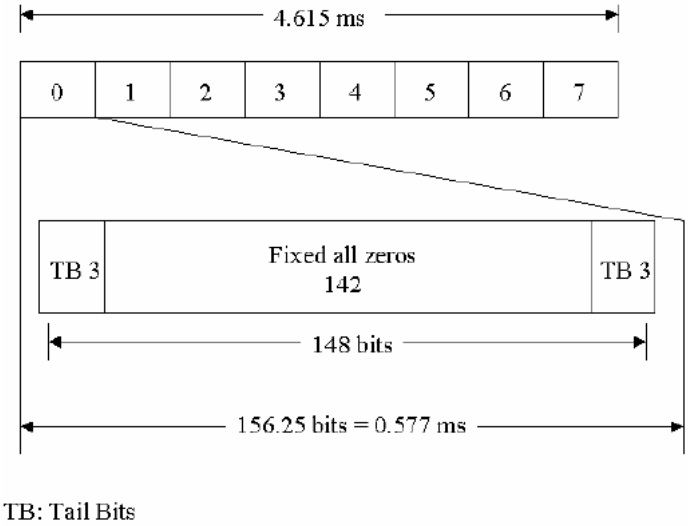
- ***Burst* Normal:** Se usa para transmisiones TCH y DCCH tanto para el *up link* como para el *down link*.



Fuente: http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo3.pdf

Figura 1.12 Estructura de la ráfaga Normal

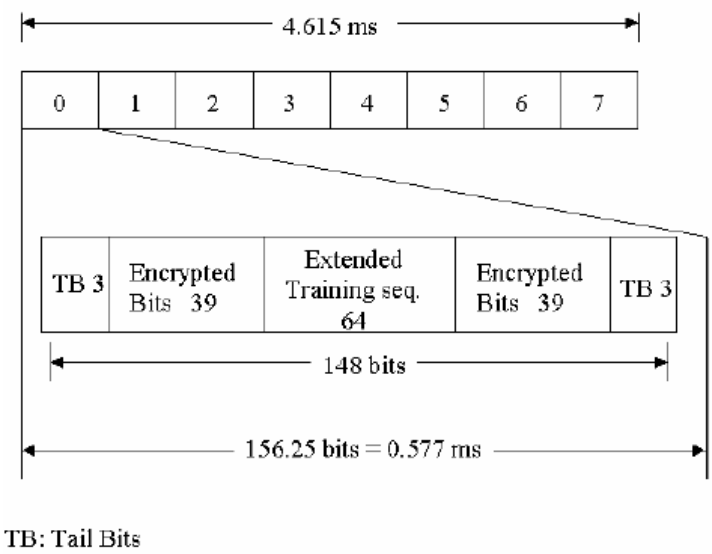
- ***Burst* de Corrección de Frecuencia:** Es utilizado para la sincronización de frecuencia en el móvil. También permite al móvil encontrar fácilmente el canal de difusión.



Fuente: http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo3.pdf

Figura 1.13 Estructura de la ráfaga de corrección de frecuencia

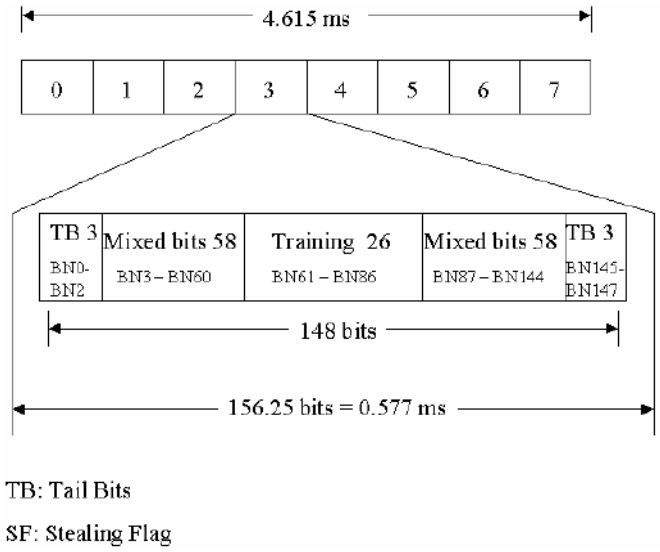
- ***Burst* de Sincronización:** Se utiliza para la sincronización temporal del móvil.



Fuente: http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo3.pdf

Figura 1.14 Estructura de la ráfaga de sincronización

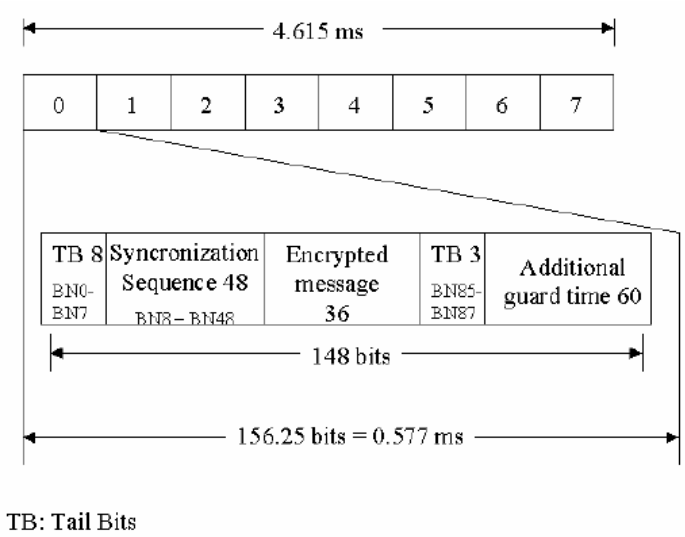
- ***Burst* vacío (*Dummy burst*):** Tiene la misma estructura que el normal pero no transmite datos, los bits encriptados son sustituidos por unas series conocidas de bits. Es utilizado para rellenar la transmisión del tranceptor de control de la estación base cuando no hay canales de tráfico que transmitir.



Fuente: http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo3.pdf

Figura 1.15 Estructura de la ráfaga vacía

- ***Burst* de Acceso:** Es el usado por el móvil para acceder al sistema. Se caracteriza por tener un periodo de guarda con una duración de 69,25 bits.



Fuente: http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo3.pdf

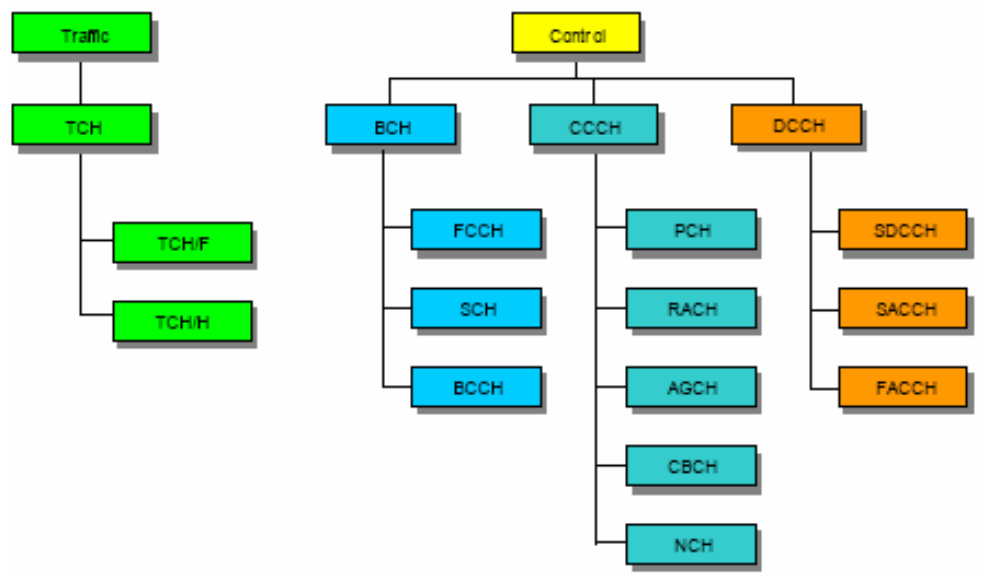
Figura 1.16 Estructura de la ráfaga de acceso

1.4.2.2 Canales Lógicos

Los canales lógicos son portados dentro de los canales físicos. Cada canal físico en un sistema GSM puede ser mapeado en diferentes canales lógicos a tiempos diferentes. Esto es, cada *time slot* específico o *frame* puede ser dedicado ya sea a manejo de información de tráfico (información de usuario tal como la conversación), información de señalización o información del canal de control (del MSC, BTS, MS).

Los canales lógicos se pueden separar en dos categorías principalmente: los canales de tráfico (TCHs) y los canales de control (CCHs). Los TCHs llevan voz codificada digitalmente o datos y tienen funciones idénticas y formatos tanto para el *down link* como para el *up link*. Los canales de control llevan comandos de señalización y control entre la estación base y la estación móvil. Se definen ciertos tipos de canales de control exclusivos para el *up link* o para el *down link*. Hay seis clases diferentes de TCHs y un número aún mayor de canales de control.

Los canales lógicos pueden ser divididos como se muestra en la siguiente figura:



Fuente: http://www.aircom.com.uk

Figura 1.17 Diagrama de las estructuras de los canales de Control y Tráfico.

El significado de los canales lógicos indicados en el gráfico es el siguiente:

TCH ***Traffic Channels***

TCH/F *Traffic Channels* (*full rate*) (U/D)

TCH/H *Traffic Channels* (*half rate*) (U/D)

BCH ***Broadcast Channels***

FCCH *Frequency Correction Channel* (D)

SCH *Synchronization Channel* (D)

BCCH *Broadcast Control Channel* (D)

CCCH ***Common Control Channels***

PCH *Paging Channel* (D)

RACH *Random Access Channel* (U)

AGCH *Access Grant Channel* (D)

CBCH *Cell Broadcast Channel* (D)

NCH *Notification Channel* (D)

DCCH ***Dedicated Control Channels***

SDCCH *Stand Alone Dedicated Control Channel* (U/D)

SACCH *Slow Associated Control Channel* (U/D)

FACCH *Fast Associated Control Channel* (U/D)

U = *Up link* D = *Down link*

En la tabla 1.2 se muestra un resumen de la descripción de cada canal:

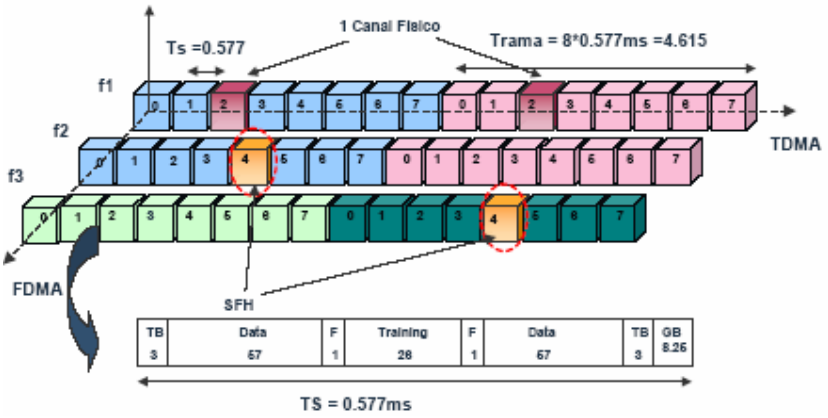
Tipo de canal	Denominación		Descripción
Canales de Tráfico (Traffic Channel-TCH)	TCH/FS		S: Voz (Speech) 9.6: Datos a 9600 bps. 4.8: Datos a 4800 bps 2.4: Datos a 2400 bps. F: Full Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, en cada trama. H: Half Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, trama de por medio. Dos usuarios comparten una misma ranura en diferentes instantes de tiempo.
	TCH/F9.6		
	TCH/F4.8		
	TCH/F2.4		
	TCH/HS		
	TCH/H4.8		
	TCH/H.24		
Canales de Control (Control CHannel-CCH)	Canales de Broadcast (Broadcast CHannels) -BCH-	BCCH	Canales de control utilizados para permitir el enganche de los móviles y el monitoreo de las potencias de los móviles en celdas vecinas (MAHO).
		FCCH	
		SCH	
	Canales Comunes de Control (Common Control CHannels) -CCCH-	PCH	Estos canales permiten el establecimiento de las llamadas y la asignación de canales de control.
		RACH	
		AGCH	
	Canales de Control Dedicados (Dedicated Control CHannels) -DCCH-	SDCCH	Canales de control bidireccionales utilizados para prestar los servicios de señalización y supervisión al usuario.
		SACCH	
		FACCH	

Fuente: Evolución de los Sistemas Móviles Celulares, Álvaro Pachón de la Cruz. Universidad Icesi-12T

Tabla 1.2 Canales lógicos en GSM

1.4.3 ASPECTOS DE LA RUTA DE RADIO

Ya que el espectro de radio es un recurso limitado compartido por todos los usuarios, se necesita un método para dividir el ancho de banda entre tantos usuarios como sea posible. El método escogido por GSM (utilizado por el Interfaz Aire) es una combinación de acceso múltiple por división de tiempo y frecuencia. El TDMA (*Time Division Multiple Access*) permite la situación en la que varios móviles puedan utilizar la misma frecuencia física para tráfico y señalización. En sistemas analógicos, una frecuencia física de hecho es lo mismo que un canal de tráfico/señalización.



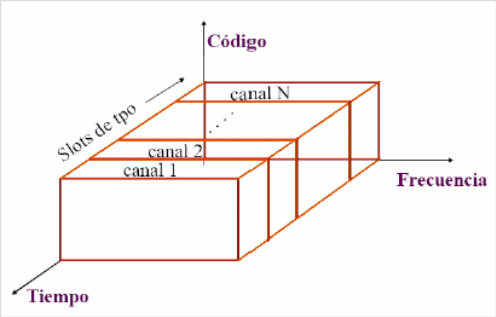
Fuente: Seminario de Tecnologías de las Comunicaciones. Ing. José Acuña, Ing. Gabriel Dutra, Abril 2003

Figura 1.18 Proceso TDMA/FDMA

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la misma que maneja entre otras funciones la asignación internacional del espectro, asignó las bandas de 890-915 MHz para el enlace ascendente (estación móvil a estación base) y 935-960 MHz para el enlace descendente (estación base a estación móvil). Ya que este rango fue usado en la década de los 80's por los sistemas analógicos del día, el CEPT tuvo la previsión de reservar los últimos 10 MHz de cada banda para las redes GSM que estaban siendo desarrolladas.

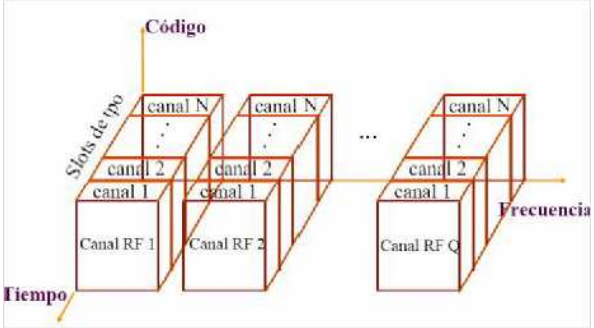
1.4.3.1 TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia)

El sistema TDMA divide la frecuencia física en canales de señalización y tráfico. La información de tráfico y señalización se incluye como ráfagas en los intervalos de tiempo. Estas ráfagas son razonablemente más cortas que el intervalo de tiempo. Debido a los requisitos de señalización de GSM, el intervalo físico de tiempo que lleva la señalización tiene distinta información como contenido en distintos momentos de tiempo. Dado que un canal físico de señalización tiene que hacer muchas tareas, se le ha dividido en canales lógicos. En la práctica, el canal lógico es el nombre del intervalo de tiempo en un determinado momento cuando se realiza un determinado tipo de función de señalización/control.



Fuente: Introducción a las Redes Móviles, Ingeniería de Acceso. 2004

Figura 1.19 ProcesoTDMA



Fuente: Introducción a las Redes Móviles, Ingeniería de Acceso. 2004

Figura 1.20 Proceso TDMA-FDMA

La parte **FDMA** envuelve la división de frecuencia del ancho total de 25 MHz en 124 frecuencias portadoras de ancho de banda de 200 KHz. Una o más frecuencias portadoras están entonces asignadas a cada estación base. Cada una de estas frecuencias portadoras es entonces dividida en el tiempo, usando un esquema TDMA, en ocho canales de tiempo. Un canal (*slot*) de tiempo es usado para transmitir por el móvil y uno para recibir. Estos están separados en el tiempo ya que el móvil no recibe y transmite al mismo tiempo, un hecho que simplifica la electrónica.

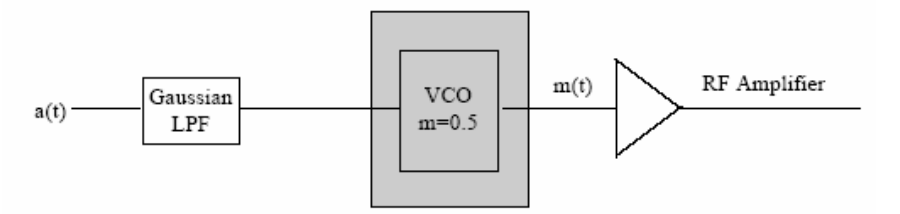
1.4.3.2 Modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*)

Este tipo de modulación se engloba dentro de las modulaciones PSK a la que se antepone un filtro gaussiano y cuya misión principal es reducir el ancho de banda de la señal y mejorar su eficiencia espectral. Para filtros gaussianos se define el parámetro BT que describe el ancho de banda del filtro gaussiano con relación a la tasa de bits de la señal.

Características de GMSK:

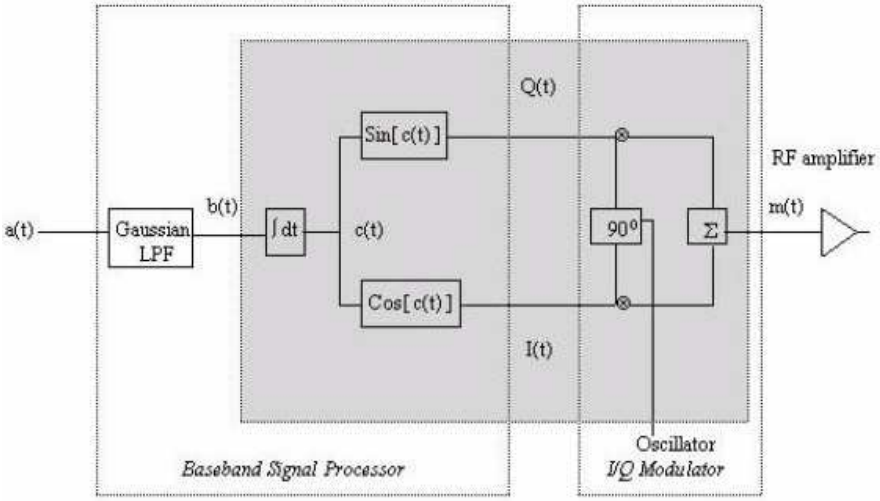
- Variante de MSK (o de OPSK): 1 y 0's, por lo tanto +/- 67.7 Khz
- Mejora lóbulos secundarios y lóbulo principal mas angosto, por lo tanto minimiza Ancho de banda e interferencia en canal adyacente.
- Índice de modulación: BT=0.3 a 270.8 Kbps

Hay dos métodos para generar GMSK. Uno es modulación FSK (*Frequency Shift Keying*), y el otro es QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)



Fuente: Siemens Network Planning Basics

Figura 1.21 GMSK implementada por modulación FSK con FM-VCO



Fuente: Siemens Network Planning Basics

Figura 1.22 GMSK implementada por modulación QPSK

El filtro pasa bajo guassiano tiene como respuesta un impulso que está dado por la siguiente ecuación:

$$g(t) = \frac{1}{2T}\ [Q(2\pi B_b \frac{t - T/2}{\sqrt{\ln 2}}) - Q(2\pi B_b \frac{t + T/2}{\sqrt{\ln 2}})]$$; para $0 \leq B_b\ T \leq \infty$

[***Ecuación 1.1***]

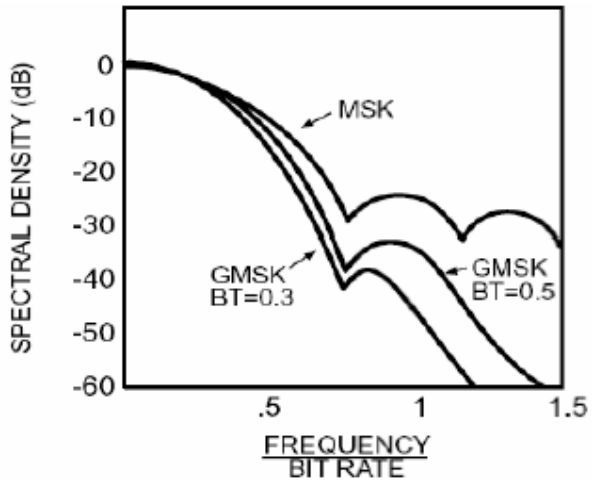
Donde Q (t) es la función Q:

$$Q(t) = \int_t \frac{1}{\sqrt{2}} \exp(-x^2/2)\ dx\ ,$$

[***Ecuación 1.2***]

B_b es el ancho de banda del filtro pasa bajo teniendo un espectro de forma gaussiana, T es el periodo de bit y $BN=B_bT$ es el ancho de banda normalizado.

En la siguiente figura se muestra la mejor utilización del ancho de banda de las modulaciones GMSK en comparación con MSK.



Fuente: Seminario de Tecnologías de las Comunicaciones. Ing. José Acuña, Ing. Gabriel Dutra, Abril 2003.

Figura 1.23 Comparación de modulación MSK con GMSK

1.4.4 MODULACIÓN DE PULSOS CODIFICADOS (PCM)

PCM es un estándar europeo que se construye con alrededor de 256 bits/trama. Hay 30 canales, cada uno de los cuales tiene un muestreo de la voz con 8 bits por muestra. También hay 8 bits por trama, usado para la alineación de la trama y

otros 8 para la información de señalización. La frecuencia de muestreo es de 8 KHz. El estándar europeo básico tiene una *tasa por bit* = 256 bits * 8000Hz = 2.048 Mbits/s.

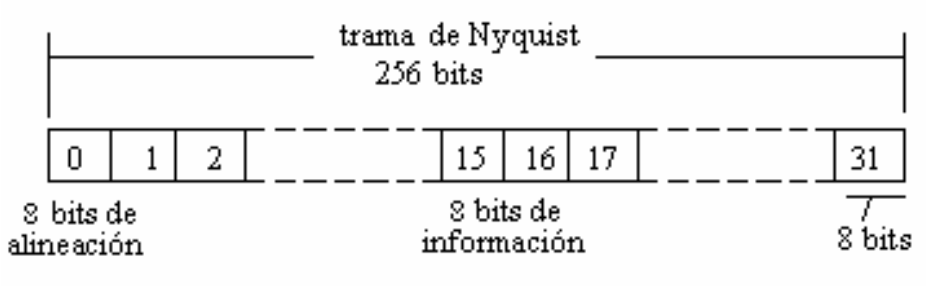


Figura 1.24 Trama PCM30

PCM considera tres etapas:

- Filtraje
- Muestreo
- Codificación

La trama asigna a cada señal multiplexada PCM un intervalo de tiempo de 8 bits, la frecuencia de repetición de trama es igual a la frecuencia de muestreo de las señales de entrada (8 KHz correspondientes a 125 us.). Una trama está dividida en 32 intervalos de tiempo (numerados del 0 al 31) con una longitud de 256 bits y una capacidad de transmisión de 2048 Kbps. En el intervalo de tiempo 0 de las tramas se trasmiten alternadamente la palabra de alineación de trama y la palabra de alarma.

Con propósitos de señalización y detección de errores binarios, se organizan las tramas en multitramas. Una multitrama tiene 16 tramas (numeradas del 0 al 15).
En el primer bit de la palabra de alineación de trama y multitrama se encuentran alternadamente los bits de prueba y los bits de la palabra de sincronismo de verificación por redundancia cíclica (CRC-4).

Una multitrama tiene 2ms de duración (16 x 125 us.). La señalización de conmutación telefónica se transmite en el intervalo 16 de las tramas 1 a 15, con 4 bits para señalizar cada uno de los 30 canales (TS 1 al 15 y 17 al 31).

En razón de que los intervalos de tiempo 0 y 16 transportan la palabra que no corresponden a señales de voz, el sistema tiene sólo 30 canales vocales.

El intervalo de tiempo 16 de la trama 0 transporta la palabra de alineación de multitrama y un bit de alarma en caso de pérdida de sincronismo de multitrama.
De los 4 bits de señalización por canal, éstos no deberán tener la combinación 0000, ya que coincidiría con la correspondiente al sincronismo de multitrama. Por esta razón el 4to bit (bit d) se los fija a 1L.

El sistema de señalización empleado se denomina asociado al canal (CAS).

La Información (conversaciones, datos, señalización) es digitalmente transmitida exclusivamente vía líneas PCM30 en la parte GSM-PLMN *Fixed Network* (Red Física de estructura fija).

1.4.5 ENLACE DE VOZ

Para transmitir la señal de voz por el canal digital GSM se utiliza un codificador de voz que convierte la voz en una señal digital con la velocidad de 13 Kbps. El codificador trabaja con bloques de duración de 20ms, es decir con bloques de 260 bits.

1.4.5.1 Codificación de la Voz

En sistemas digitales las señales analógicas como la voz se someten a procesos de digitalización, con el objetivo de disminuir el espectro de la señal a transmitirse.

Con el propósito de efectuar esta digitalización, la señal analógica de voz se somete a procesos de filtración de manera que contenga componentes de frecuencia por debajo de 4KHz, suficiente para el reconocimiento correcto de la voz.

Luego de filtrar estas señales, estas son muestreadas en el proceso de conversión analógico-digital a una frecuencia de 8KHz y se cuantizan en datos de 13 bits (2^{13}=8192 niveles). De la salida del conversor se toman 160 muestras cada 20 ms. Los procesos antes citados se conocen como procesos DAI (*Digital Audio Interference*).

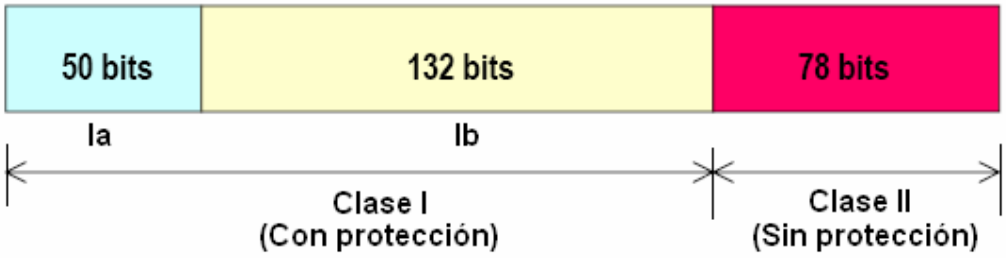
Para la codificación de la voz en GSM se define el codec de velocidad completa descrito como RPE-LPT bajo la recomendación de la ETSI GSM 06.10. El codec de voz GSM funciona bajo el esquema de "Excitación de Pulsos Regulares y Predicción de Periodo Largo" (RPE-LPT, *Regular Pulse Exiting Long Term Prediction*).
RPE-LPT modela la señal que proviene del DAI como una secuencia de pulsos regularmente espaciados, este codificador de voz envía un bloque de 260 bits (trama de voz) cada 20ms, con lo que se tiene una velocidad de 13 Kbps.

1.4.5.2 Codificación de Canal

Puesto que el ME (Equipo Móvil) está en constante movimiento y existen irregularidades del terreno, se producen variaciones y desvanecimientos en la señal recibida por el móvil. Estas variaciones producen errores en las transmisiones digitales. En el entorno rural, cuando estos desvanecimientos son muy grandes debido al descenso del nivel de señal o en el entorno urbano cuando el nivel de interferencia co-canal supera el límite tolerado.
Para proteger la transmisión contra errores, el sistema GSM utiliza códigos de canal, que es una técnica que se implementa para mejorar la confiabilidad de un enlace de comunicaciones y para esto utiliza un método denominado FEC (*Forward Error Correction*), que consiste en la adición de bits redundantes de paridad a los datos transmitidos, con el objetivo de que el sistema pueda detectar e incluso corregir algunos errores introducidos por el canal de radio. El sistema también utiliza codificación convolucional y entrelazado para proteger los datos.

En el caso de la voz, el codificador de voz entrega al codificador del canal una secuencia de bloques de datos. Cada bloque de datos corresponde a una trama

de voz y contiene 260 bits de información, estos bits se subdividen en dos clases como se muestra en la fig 1.25



Fuente: Comunicaciones Móviles, Carlos Crespo Cadenas. Universidad de Sevilla

Figura 1.25 Clases de bits en el codificador de canal

A cada una de ellas se aplica una codificación de canal diferente. A los 50 primeros bits (grupo Ia), que son los más importantes, se les aplica un código de redundancia cíclica de 3 bits, teniéndose como resultado 53 bits. Estos bits junto con los 132 bits siguientes (grupo Ib), más 4 bits de cola, hacen un total de 189 bits. A éstos se les aplica un código convolucional con lo que se obtienen 378 bits de salida, que sumados con los 78 bits que forman el grupo II, y que no llevan ninguna protección, hacen un total de 456 bits cada 20 ms, lo que da una señal digital de velocidad 22.8 Kbps.

1.4.6 *INTERLEAVING (*ENTRELAZADO)

En la vida real, no se suele producir un error en un bit puntual, sino que es mucho más probable que afecten a un conjunto consecutivo de ellos, es decir que los errores tienden a suceder en ráfagas. La codificación de canal es efectiva en la detección y corrección de pocos errores, pero no cuando la información perdida consecutiva es grande. Para esto se necesita un modo de dispersar los bits consecutivos que forman un mensaje. Esta es la misión del entrelazado. Dicho de otra forma, el *interleaving* se utiliza para dispersar las ráfagas de error y para reducir la concentración de errores que se deben corregir por el código del canal.

El proceso de *Interleaving* se aplica sobre los 456 bits resultantes de la codificación de canal. Los bloques de 456 bits codificados son reordenados e interlineados sobre 4x2 grupos multiplexados en el tiempo, bien sobre los 4 pares

o bien sobre los 4 impares. Cada bloque de 456 bits codificados se divide en 8 pares (57 bits) que son entremezclados con los del bloque precedente o con los del posterior. A estos nuevos grupos de 114(57+57) bits se les añade unos bits (1+1) que indican si los bits del enlace de voz de las partes pares o impares han sido sustituidos por datos de FACCH (*Fast Associated Control Channel*). Estos nuevos grupos de 116 (58+58) bits son los que forman los *Bursts* que se transmiten.

El codificador trabaja con un retardo relativo de 4 bits. Por ejemplo: considérese las dos secuencias siguientes:

1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a

y

1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b

El entrelazado resulta ser el siguiente:

1a	5b	2a	6b	3a	7b	4a	8b	5a	1b	6a	2b	7a	3b	8a	4b

1.5 PROCEDIMIENTOS GSM

1.5.1 CÓDIGOS E IDENTIDADES EN EL SISTEMA

1.5.1.1 Códigos y Áreas de Servicio GSM

"El sistema GSM está ordenado jerárquicamente dentro de las áreas de servicio. Para identificación y direccionamiento seguro, se utilizan códigos del área de servicio.

- **Área se Servicio GSM Internacional**

El Área de servicio GSM Internacional es la suma de las áreas que son utilizadas por las redes GSM. Un usuario GSM puede usar todas estas redes GSM si su HPLMN tiene el acuerdo *roaming* con el BPLMN y su ME soporta la banda de frecuencia correspondiente (GSM 900/GSM 1800/GSM 1900).

- **Área de Servicio GSM Nacional**

Un área de servicio nacional contiene uno o más GSM-PLMN. El PLMN de diferentes operadores puede suplementar una a la otra o puede superponerse la una a la otra.

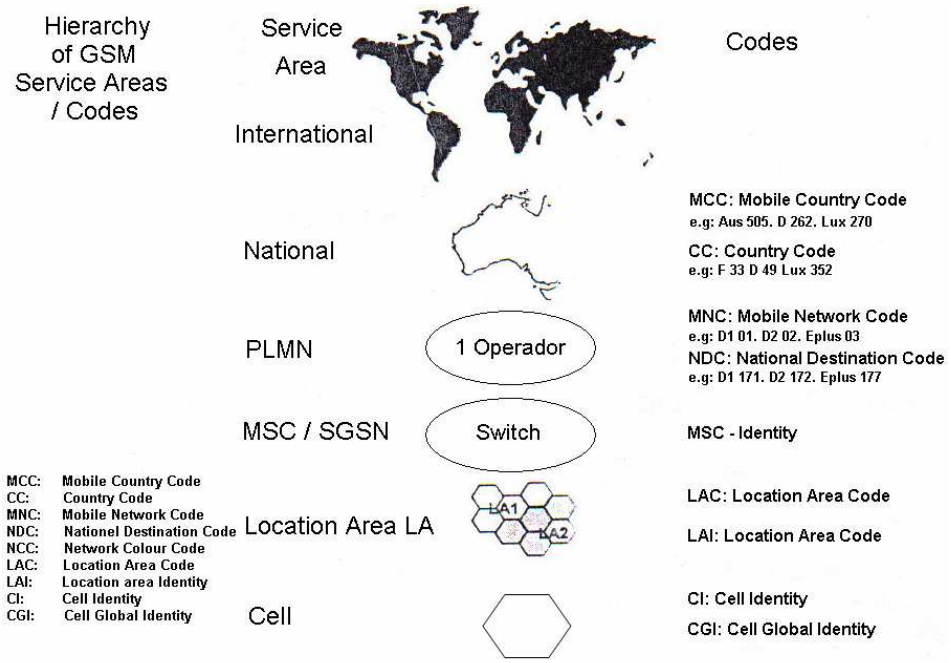
Los siguientes códigos son importantes para identificar al área de servicio nacional:

- **MCC (*Mobile Country Code*)**: El MCC consiste de tres dígitos; estos son usados por ejemplo: para el IMSI (*Internacional Mobile Subscriber Identitiy*), LAI (*Location Área Identity*) y el CGI (*Cell Global Identity*).
- **CC (*Country Code*):** El CC es el código de discado del país en el cual el móvil del usuario es registrado. El CC consiste de dos o tres dígitos y es usado por ejemplo: en el número ISDN Internacional del móvil del usuario.

- **Área de Servicio PLMN**

Un área de servicio PLMN es administrada por un operador. Algunas áreas de servicio PLMN pueden coincidir dentro de un país. Así los PLMNs individuales tienen que tener una clara identificación:

- **MNC (*Mobile Network Code*):** El MNC es la identificación PLMN específica del móvil, este consta de dos dígitos. El MNC es usado en el IMSI (*Internacional Mobile Suscriber Identity*), LAI y CGI.
- **NDC (*Nacional Destination Code*):** NDCs identifican el código de discado de un PLMN, este consta de tres dígitos. El NDC es usado en el MSISDN (*Mobile Suscriber Integrated Service Digital Network*).
- **NCC (*Network Color Code*):** El NCC es un código de discriminación PLMN que no es ambiguo. Este es usado como una identidad corta (longitud: 3 bits) de un PLMN particular en sobrelapamiento de áreas PLMN o regiones de borde; este es usado por ejemplo: en el BSIC (*Base Station Identity Code*).



Fuente: Siemens Network Planning Basics

Figura 1.26 Códigos y Áreas de Servicio GSM

- **Área de servicio MSC/VLR**

La GSM-PLMN está subdividida dentro de una o más áreas de servicio MSC/VLR. El móvil de un usuario es registrado en el VLR, el cual es asociado a su MSC visitado. La Identidad MSC/VLR es almacenada en el HLR, de esta manera una MTC es posible.

- **LA (Location Area):**

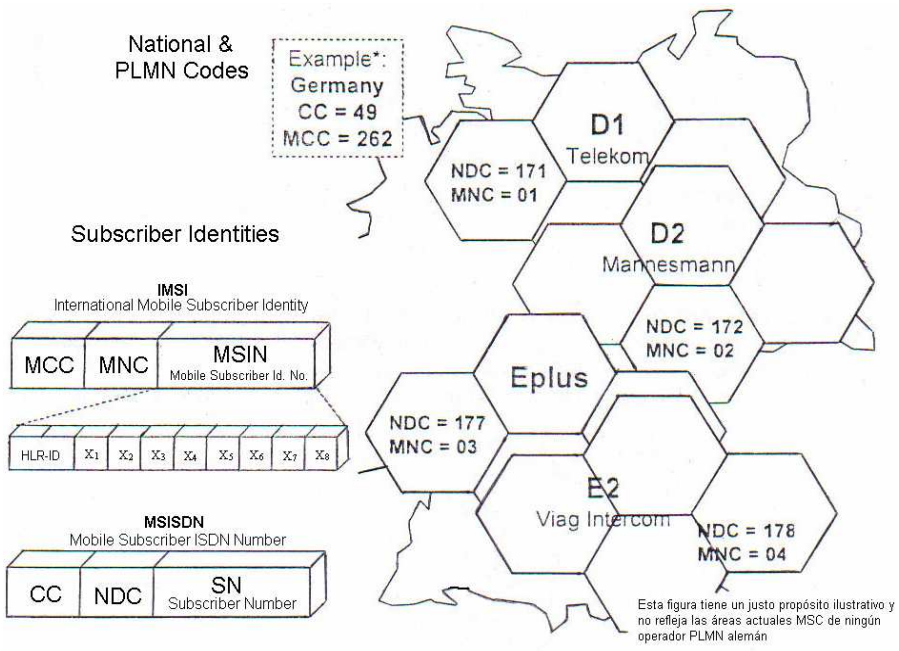
  Los identificadores del Area de Localización son:

  - **LAC (*Location Area Code*):** EL LAC sirve para identificar un LA dentro de un GSM-PLMN. La longitud LAC es 2 bytes.
  - **LAI (*Location Area Identity*): = MSC+MNC+LAC;** Identificación del área de localización.

- **Área de Servicio BTS:**

La celda es la unidad más pequeña en la GSM-PLMN. La calidad definida de una señal recibida debe ser garantizada dentro de una celda. Si un MS mantiene el rango de una celda durante una conexión el *handover* para la siguiente celda es iniciado, las identificaciones de celda son:

- **CI (*Cell Identity*):** La Identificación de Celda (CI) permite la identificación de una celda dentro de una LA, la longitud del CI es 2 bytes.
- **CGI (*Cell Global Identity*) = MSC+MNC+LAC+CI=LAI+CI;** el CGI representa una identificación internacional no ambigua de una celda.
- **BSIC (*Base Transceiver Station Identity Code*) = NCC+BCC (*Base Station Color Code*);** el BSIC es un código de identificación local que permite al móvil distinguir entre estaciones base adyacentes. (NCC: 3bits; BCC: 3bits)



Fuente: Siemens Network Planning Basics

Figura 1.27 Área de Servicio MSC/VLR

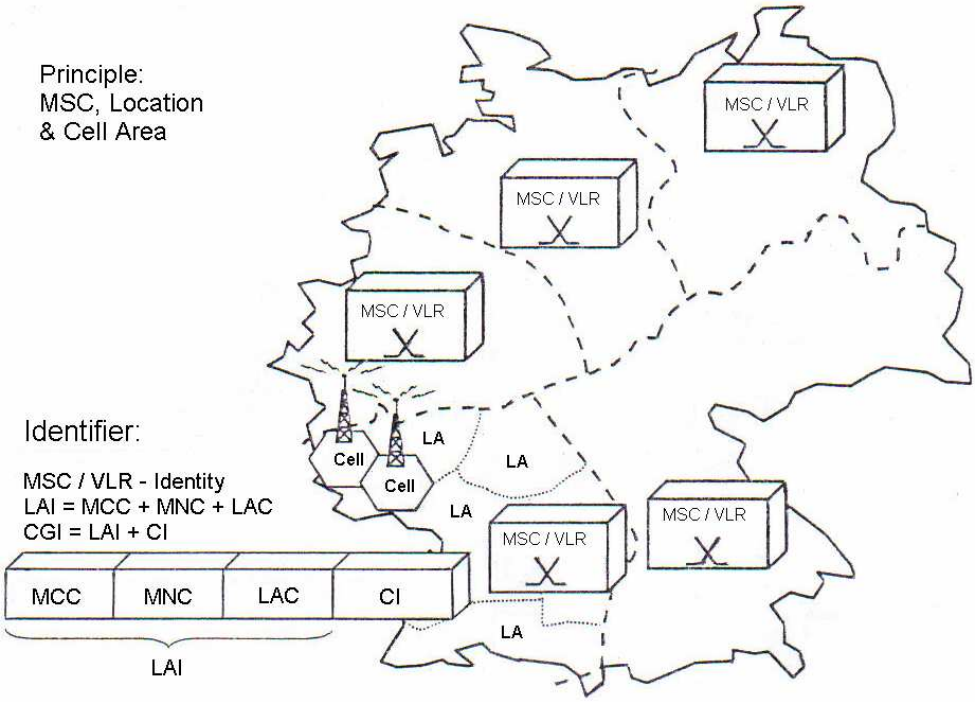
Identidades de Usuario:

- **IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) = MCC+MNC+MSIN (*Mobile Subscriber Identification Number*);** Longitud IMSI = 3+2+10 dígitos. El IMSI es único para cada usuario. Este es usado para señalización y normalmente no es conocido por el usuario.

- **MSISDN (*Mobile Subscriber ISDN*) = CC+NDC+SN.** Longitud MSISDN: 2/3+3+max.7 dígitos = max.12 dígitos. El MSISDN es “el número telefónico

de los usuarios". Un usuario tiene un IMSI (con un contrato), pero el puede tener diferentes MSISDN (ejemplo: para fax, teléfono, etc).

- **TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*)** Es utilizada en el Interfaz radio para asegurar la privacidad del IMSI y es asignada por el VLR. Tiene una longitud de 4 bytes, debe incluir información relacionada con la hora. Se asigna siempre mediante cifrado."[1]



Fuente: Siemens Network Planning Basics

Figura 1.28 Identificadores de Usuario

1.5.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEGURIDAD

El estándar GSM incorpora mecanismos de seguridad tanto a nivel de identificación del usuario y del equipo móvil que utiliza, como en el cifrado de las comunicaciones que se registran en el aire.

La seguridad en GSM consta de los siguientes aspectos:

- Autenticación de la Identidad del Abonado

[1] Network Planning Basics

- Confidencialidad de la Identidad del Abonado
- Confidencialidad de los Datos de Señalización
- Confidencialidad de los datos del usuario

Los mecanismos de seguridad de GSM se implementan en tres elementos diferentes del sistema: (1) El Módulo de Identidad del Abonado (SIM, *Subscriber Identity Module*), (2) El equipo portátil GSM también denominado Estación Móvil o MS (*Mobile Station*) y (3) La Red GSM

De este modo, cuando una estación móvil intenta registrarse en la red, llamar u obtener servicios suplementarios, la red le obliga a autentificarse para verificar su identidad, así como que el terminal que está utilizando no tenga un origen fraudulento. Una vez autentificado, los accesos se realizan con identidad prestada a efectos de privacidad.

En la transmisión posterior a la información, así como en el proceso de autentificación y obtención de claves de cifrado, entran en juego una serie de parámetros como son:

- *Ki,* conocida como clave de autentificación individual, residente en el AUC y en la tarjeta SIM del cliente.
- *Kc,* conocida como clave de cifrado para la transmisión.
- *A3,* o algoritmo para la autentificación, residente en la tarjeta SIM y el centro AuC.
- *A8,* o algoritmo para la generación de la clave de cifrado, residente en el AuC.
- *A5,* o algoritmo que junto con *Kc* y el número de trama efectúa un conjunto de operaciones para codificar la información.

Asociado a estos parámetros existe un procedimiento completo para la autentificación de la estación móvil.

Del mismo modo, la identidad del Terminal se comprueba en el registro EIR (*Equipment Identity Register*), donde existen tres listas:

- Lista blanca. Se permite al Terminal conectarse a la red.

- Lista gris. El Terminal está bajo la observación de la red debido a posibles problemas.
- Lista negra. El Terminal se ha denunciado como robado o es de un tipo que no está aprobado. No se permite conectar el Terminal a la red.

1.5.2.1 Proceso de Autentificación

"La red GSM autentifica la identidad del abonado utilizando un mecanismo de "desafío-respuesta". Se envía a la estación móvil un número aleatorio de 128 bits (denominado RAND). La estación móvil (MS) calcula la respuesta firmada de 32 bits (denominada SRES, *Signed Response*) basándose en el cifrado del número aleatorio (RAND) con el algoritmo de autenticación (denominado A3) utilizando la clave individual de autenticación de abonado (K_i). Al recibir del abonado la respuesta firmada (SRES), la red GSM repite el cálculo para verificar la identidad del abonado. Nótese que la clave individual de autenticación de abonado (K_i) nunca se transmite sobre el canal de radio. Está presente en el SIM del abonado, así como en las Bases de Datos del AUC, HLR y VLR. Si el SRES recibido coincide con el valor calculado, la estación móvil ha sido autentificada con éxito y puede continuar. Si los valores no coinciden la conexión se termina y se indica un fallo de autenticación a la estación móvil. El cálculo de la respuesta firmada (SRES) se realiza dentro del SIM. Esto proporciona mayor seguridad, debido a que la información del abonado confidencial como la IMSI ó la clave individual de autenticación del abonado (K_i) nunca salen del SIM durante el proceso de autenticación."[2]

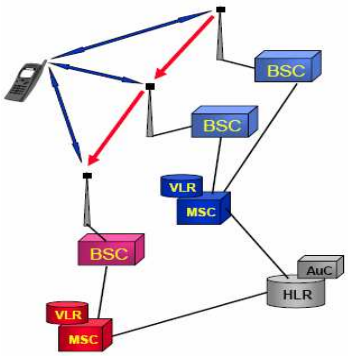
1.5.3 *LOCATION UPDATES* (ACTUALIZACION DE LA LOCALIZACIÓN)

Es necesario actualizar la localización cuando el móvil sale fuera del área de localización.

En los procedimientos de localización y subsiguiente direccionamiento de llamadas, se usan los registros HLR y VLR. Cuando un móvil cambia de área de

[2] SEGURIDAD EN COMUNICACIONES GSM, Dr. Javier Areitio Bertolín. Universidad de Deusto

localización se envía un mensaje de actualización de localización al nuevo MSC/VLR que guarda esta información y la envía al VLR. Por razones de fiabilidad tiene un procedimiento periódico de actualización de localización. El tiempo entre actualizaciones periódicas está controlado por el operador del sistema. En la fig.1.27, se ilustra el proceso mencionado.



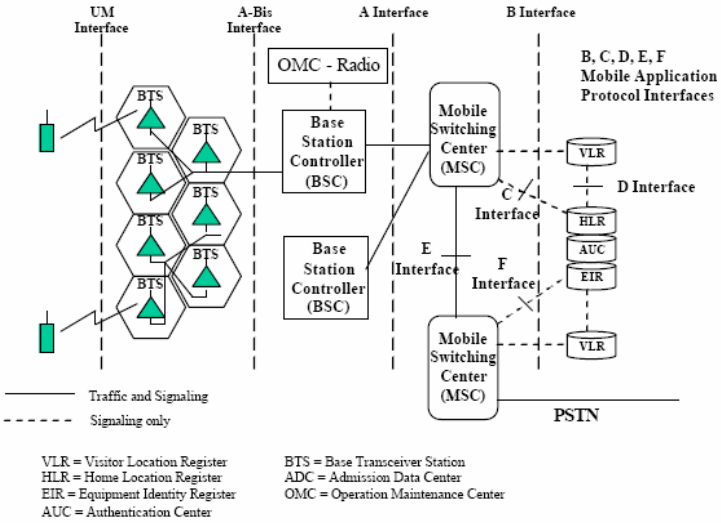
Fuente: http://www.aircom.co.uk

Figura 1.29 Location Updates

1.6 SEÑALIZACIÓN

1.6.1 PROTOCOLOS E INTERFACES

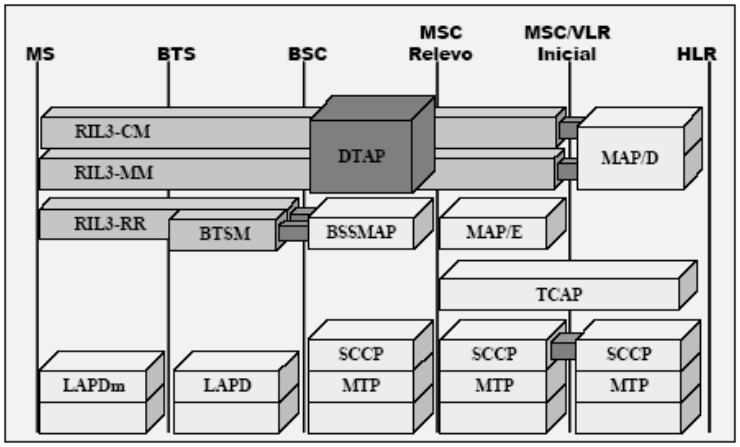
En el siguiente gráfico se muestran las diferentes interfaces que tiene una red GSM:



Fuente: Seminario de Tecnologías de las Comunicaciones

Figura 1.30 Configuración de una red GSM y sus respectivas interfaces.

En la figura 1.31 se puede observar los protocolos asociados al sistema GSM en los diferentes elementos de red:



Fuente: http://www.it.uc3m.es/~gavilan/apuntes/gsm_intro_2000.pdf.

Figura 1.31 Protocolos existentes entre elementos de una Red GSM.

La siguiente tabla muestra una breve descripción de las diferentes interfaces que existen en una red GSM.

Interfaz	Situada entre	Descripción	Intercambio de información	
			Tráfico Usuario	Protocolo Señalización
A	MSC-BSC	Permite el intercambio de información sobre la gestión del subsistema BSS, de las llamadas y de la movilidad. A través de ella, se negocian los circuitos que serán utilizados entre el BSS y el MSC.	SI (1)	SS7
Abis	BSC-BTS	Permite el control del equipo de radio.	SI	LAPD
B	VLR-MSC asociados	VLR es la base de datos que contiene toda la información que permite ofrecer el servicio a los clientes que se encuentran en el área de influencia de sus MSC asociados. Por lo tanto, cuando un MSC necesite proporcionar información sobre un móvil acudirá a su VLR. Esta interfaz NO debe ser externa (por desempeño, por el volumen de información intercambiado).	NO	MAP/B (2)
C	HLR-GMSC	Es la interfaz utilizada por los gateways GMSC para enrutar la llamada hacia el MSC destino. La GMSC no necesita contar con un VLR, se trata de un nodo que sólo transmite llamadas.	NO	MAP/C
D	HLR-HLR	Permite intercambiar información entre ambas bases de datos, esta información se encuentra relacionada con la posición del móvil y la gestión del servicio contratado por el usuario.	NO	MAP/D
E	MSC-MSC	Permite intercambiar la información necesaria para iniciar y realizar un intercambio Inter-MSC cuando el móvil cambia de área de influencia de un MSC a otro.	SI 64 Kbps	MAP/E, RDSI, ISUP (3)
F	MSC-EIR	Utilizada cuando el MSC desea comprobar el IMEI de un equipo.	NO	
G	VLR-VLR	Utilizada para permitir la interconexión entre dos VLRs de diferentes MSCs	NO	MAP/G
H	MSC-SMS-G		SI	MAP/H
I	MSC-MS	Permite el intercambio transparente de datos entre el MSC y el MS a través del BSS		
Um	BSS-MS	Es la interfaz de radio, se encuentra entre la estación móvil y el BSS.	Voz: 13 Kbps Datos: 9.6 Kbps	LAPDm

Fuente: Evolución de los Sistemas Móviles Celulares, Álvaro Pachón de la Cruz. Universidad Icesi-12T

Tabla 1.3 Descripción de las Interfaces GSM

1.6.2 FUNCIONALIDADES GSM

1.6.2.1 Control de Potencia (*Power Control*)

En el sistema GSM existen definidas cinco clases de estaciones móviles de acuerdo a la potencia del transmisor:

- Clase 1: 20 W / 43 dBm.
- Clase 2: 8 W / 39 dBm.
- Clase 3: 5 W / 37 dBm.
- Clase 4: 2 W / 33 dBm.
- Clase 5: 0.8 W / 29 dBm.

El control de potencia en el sistema GSM puede ser utilizado tanto en la MS como en la BTS y su finalidad principal es la de reducir la interferencia co-canal mientras se trabaja con una potencia transmisora adecuada para mantener la calidad de la señal de voz a través del enlace radioeléctrico. Este control de potencia es obligatorio para las MS mientras que no lo es para las BTS. La MS debe ser capaz de variar su potencia de transmisión desde su máximo valor (diferente según la clase de MS de que se trate) hasta 20 mW (13 dBm) en pasos de 2 dB.

Para el acceso inicial de una MS en una celda, dicha MS debe usar su valor máximo definido por la clase de MS o el valor máximo permitido en esa celda. Después, la BTS calcula el nivel de potencia en radiofrecuencia que debe usar la MS y se lo señala mediante 4 bits que están dedicados para tal efecto en el SACCH (BTS-MS). El cambio de potencia en la MS se realiza a una velocidad de 2 dB cada 60 ms y la MS confirma a la BTS el nivel de potencia que utiliza en el SACCH (MS-BS).

1.6.2.2 *Handover* o Transferencia

Handover es el proceso de pasar la comunicación de una estación móvil que ocupa un canal de radio a otro, con el propósito de no dejar caer una llamada y

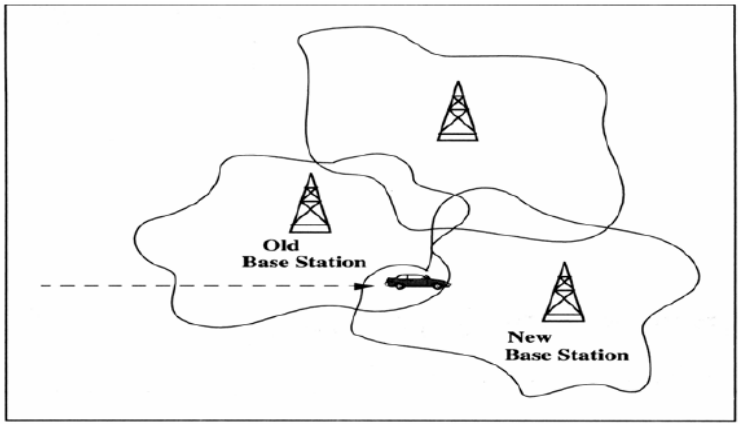
asegurar una relación señal a ruido adecuada durante todo el lapso de la llamada. Cuando un usuario cruza el límite entre celdas adyacentes se realiza el proceso de *handover* sin interrumpir la llamada o alertar al usuario.

En función de la relación entre los canales de origen y los canales de destino de la comunicación se pueden tener los siguientes tipos de *handover*:

- *Handover* Intra-celda, se produce cuando se cambia de frecuencia dentro de la misma celda.
- *Handover* Intra-BSS, ocurre cuando hay cambio de celdas, las cuales son controladas por la misma estación base de control (BSC).
- *Handover* Intra-MSC, Inter-BSS, ocurre cuando las celdas origen y destino dependen de diferentes estaciones base, pero estas BSCs dependen de una misma central de conmutación (MSC).
- *Handover* Inter-MSCs, cuando las celdas de origen y destino dependen de MSCs diferentes.

Los procesos de *handover* se realizan en base a:

- Mediciones de la intensidad de campo recibidas por la estación base desde la estación móvil.
- Mediciones del tiempo de propagación de la señal desde la estación base hacia la estación móvil y su retorno.



Fuente: Siemens, Network Planning Basics

Figura 1.32 Ilustración del Proceso de *Handover*

Las consideraciones para realizar un proceso de *handover* son:

- Utilizar valores medidos de la intensidad de campo o de la distancia que separa al móvil de las estaciones base.
- Retardar la transferencia de la llamada si al existir dos posibles celdas para efectuar el proceso de *handover*, una de las dos señales receptadas por el teléfono móvil va aumentando en comparación con la señal recibida de la otra celda.
- Retrasar la transferencia de llamada si no existe un canal libre durante las horas de alto tráfico.

1.6.2.3 Operación Multibanda (*Multiband Operation*)

La Operación Multibanda, significa que el mismo operador de red proporciona los servicios GSM en las dos bandas de frecuencia GSM900 y GSM1800.
Por lo tanto, la operación de “banda dual” de la MS así como el *handover* entre celdas que pertenecen a diferentes bandas es también soportado, con una administración apropiada de la tarjeta de lista de celda.

El equipo tranceptor para las dos frecuencias está localizado en la misma BTS.
Esto permite al operador de red usar una infraestructura de red existente cuando expande una red GSM900 con equipo GSM1800 y viceversa.

La Operación Multibanda incluso puede tener características como un “BCCH común” Por ejemplo una BTS concéntrica es configurada. El área interior es la frecuencia GSM 1800 y el área exterior es la frecuencia GSM 900. Esta BTS puede ser abastecida con un solo BCCH y ofrece frecuencias de portadora en conjunto las dos bandas: GSM900 y GSM1800.

CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE LA PLANIFICACIÓN CELULAR Y DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA EN REDES CON TECNOLOGÍA GSM

INTRODUCCIÓN

En este capitulo se realiza un breve estudio de la Planificación Celular necesaria para la optimización de cobertura en redes con tecnología GSM, en donde se tomarán en cuenta los siguientes aspectos: **Planificación de Frecuencias**, en la que se revisa el re-uso de frecuencias; **Planificación de Capacidad**, en la que se revisan los requerimientos de capacidad y los criterios generales para calcular el tráfico; **Planificación de Cobertura**, dentro de la cual se revisa los requerimientos de cobertura, sistema radiante, posición estratégica, continuidad de cobertura y control de potencia. Además se estudiarán los principales parámetros de medición de calidad, factores principales que afectan a la calidad de la señal y medida de la calidad.

2.1 PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS

La Planificación de frecuencias tiene como objetivos principales la optimización del uso del espectro y sobre todo la eliminación de las interferencias.

Las interferencias son todas aquellas señales no deseadas que llegan a un receptor desde diversas procedencias (es decir, de canales adyacentes del propio radioenlace, de otro radioenlace circundante, etc.).

Para la planeación de frecuencias se tienen los siguientes procedimientos principales:

- Verificación de la disponibilidad del espectro de frecuencias.

- Configuración del canal de frecuencias a usar, como son: frecuencia en *uplink*, *downlink* y ARFCN (*Assigned Radio Frequency Channel Number*).
- Reuso de frecuencia y grupos de frecuencia. Esto se logra asignando un patrón de reuso de frecuencia para evitar las interferencias y asignando canales de frecuencia grupales de acuerdo a los transmisores de cada sector en las celdas.

Para esta planificación también se deben considerar los siguientes aspectos:

- Procurar que los valores típicos de C/I estén entre 13 y 18 dB; estos valores están indicados en las especificaciones del estándar GSM.
- Solo una vez se pueden asignar frecuencias dentro de un mismo *cluster* (grupo de celdas que utilizan el mismo tipo de re-uso de frecuencias) en el grupo de frecuencias respectivo para cada celda.
- Debe mantenerse el mismo patrón de C/I entre los *clusters*.
- Minimizar la interferencia de canal adyacente.
- Sectorización para mejorar el C/I y reducir el tamaño del *clusters,* mediante antenas sectorizadas de 30, 60 o 90 grados, y mediante la reducción de interferencias co-canales.

2.1.1 PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS SIN *FREQUENCY HOPPING* (SALTO DE FRECUENCIA)

Para esta planificación se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tener espectro disponible.
- Identificación de los números de canales del espectro, división en canales de señalización y canales de tráfico de acuerdo a los requerimientos.
- Tomando en cuenta la distancia de reuso y factor de reuso se debe dimensionar manualmente las frecuencias de señalización BCCH (*Broadcast Common Control Channel*) procurando mantener un C/I no menor a 9 dB (ambiente suburbano-rural) y de 12 dB (ambiente urbano y denso urbano).
- Procurar no tener interferencia co-canal o accesos lejanos debido a sitios altos con frecuencias semejantes que lleguen a sitios bajos lejanos.

- Simular *plots* de cobertura con las frecuencias asignadas por *cluster* y verificar mediante cálculo de interferencia, si habría que optimizar mediante cambios físicos o de base de datos el sitio problemático.
- Procurar no tener interferencias de canal adyacente por hacer reuso de frecuencias cercanas en sitios cercanos.
- El mismo procedimiento se realiza con los canales de tráfico, pero es recomendable usar la funcionalidad de *Frequency Hopping* para los canales TCH (*Traffic Channels*).
- Por lo general la planeación manual se lo hace después de la planeación automática inicial mediante herramientas de predicción.
- Los patrones de reuso mas comunes son 3/9, 4/12, 2/6, 1/3, etc.

2.1.2 PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS CON *FREQUENCY HOPPING*

Por lo general el inicio de la planificación de frecuencias siempre se hace de forma automática mediante una herramienta de predicción.

Para realizar la planeación manual de frecuencias se tiene el siguiente diagrama:

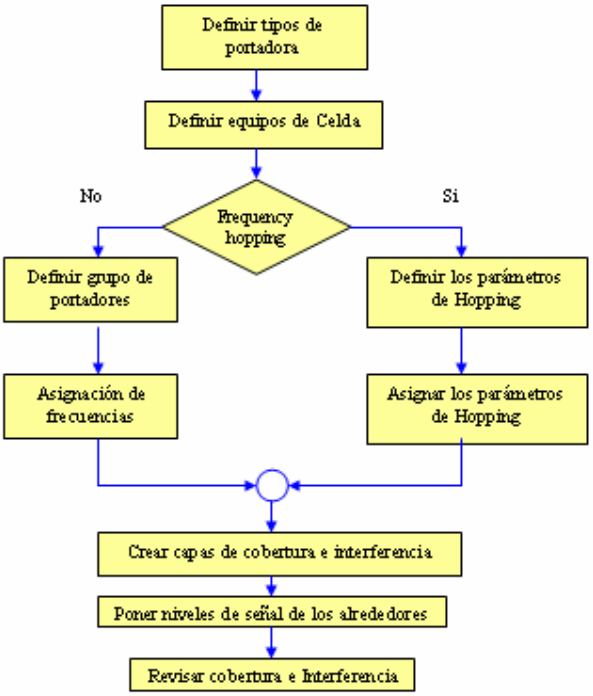


Figura 2.1 Diagrama de Planificación Manual de Frecuencias.

Como se puede ver en la figura 2.1 lo primero que se hace es definir los tipos de portadora; esto quiere decir que se debe definir si van a ser de señalización o de tráfico. Para definir los equipos de celda, se debe tomar en cuenta los proveedores, además identificar si la celda va a ser *indoor* u *outdoor*, etc. Luego se analiza si se va a utilizar o no *Frequency Hopping*, cabe anotar que es necesaria la implementación de *Frequency Hopping* cuando hay canales de tráfico (TCH).

Si no se implementa *Frequency Hopping*, primero se define el grupo de portadoras, esto es definir el grupo de canales del espectro disponible que se usará para los BCCH. Luego se realiza la asignación de frecuencias, esto quiere decir que se distribuirá en todas las celdas los canales de frecuencias en cada uno de los sectores tomando en cuenta el factor de reuso y la distancia de reuso.

Si se implementa *Frequency Hopping*, primero se tiene que saber que tipo de FH (*Frequency Hopping*) se va a utilizar, se tienen tres tipos que son: *Synthetized* FH, *Site* FH y *Base Band* FH. El mas complicado de implementar es el *Synthetized* FH porque hay muchas colisiones, este sirve cuando hay pocas frecuencias en TCH, un gran reuso de frecuencias y un gran espectro total. El mas seguro de implementar es el Site FH. Con el *Base Band* FH se tiene un cambio randómico o sincrónico.

Los principales parámetros a definir son MAIO (Mobil Allocation Index Offset) y HSN (Hopping Sequence Number).

Luego se crean las capas de cobertura e interferencia, esto es luego de tener las coberturas iniciales previo del plan de frecuencias se realizan *plots* de reuso de frecuencia y *plots* de interferencias para el análisis.

Se fija los niveles de señal de los alrededores, esto quiere decir que se señaliza poniendo colores a los rangos de nivel de cobertura. Al final se realiza el análisis tanto de cobertura como de interferencia.

Para la planificación automática de frecuencias, se tiene el siguiente diagrama:

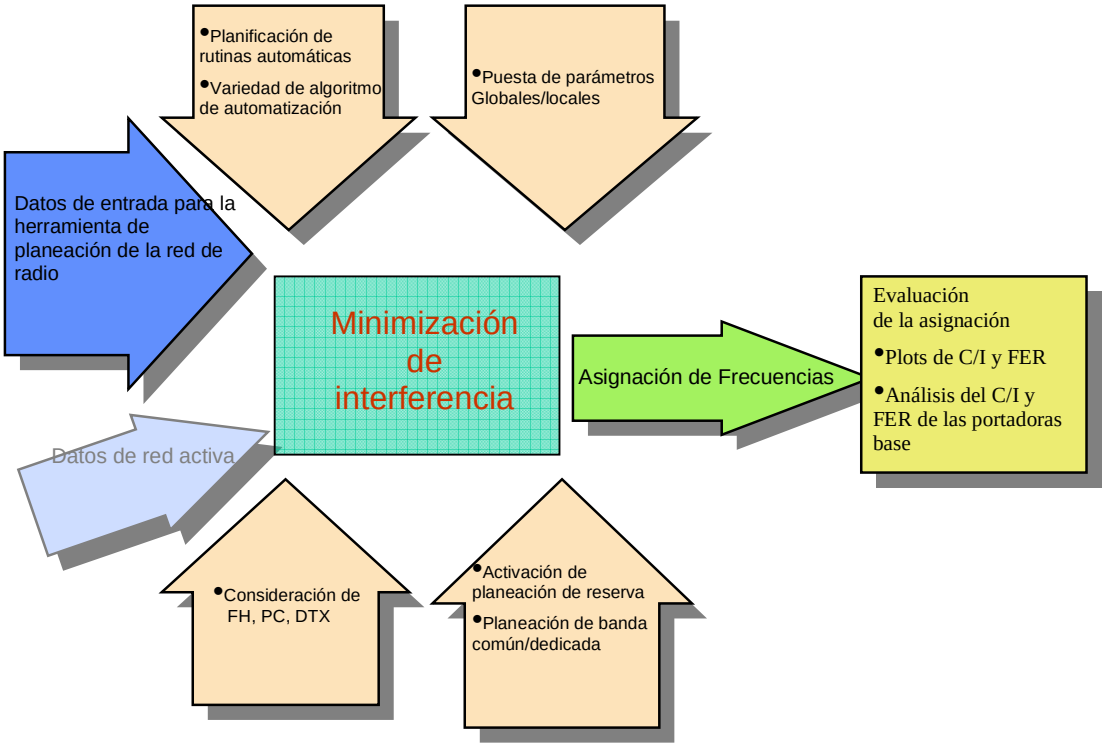


Figura 2.2 Diagrama de Planeación automática de Frecuencias.

En general en las herramientas que se utilizan para la planificación automática de frecuencias se debe ingresar cierta información, con el objetivo de tener una minimización de interferencia como se puede ver en la figura 2.2, lo que es necesario para obtener una adecuada asignación de frecuencia. El proceso para tener minimización de interferencia es el siguiente:

- Puesta de parámetros globales/locales, se pone parámetros globales cuando es a nivel de *cluster* para que no se repita un número determinado de veces un mismo canal. Se pone parámetros locales cuando es a nivel de celda, se lo realiza con la finalidad de que los canales no estén muy juntos.
- Planeación de rutinas automáticas, se ingresan los datos y parámetros necesarios para que los algoritmos de automatización entren en funcionamiento.

- Ingreso de los datos de entrada, se pone cuales son los sitios y cuantos se va a implementar, si se va hacer la planeación en BCCH o TCH, en que banda se va a trabajar, etc.
- Ingreso de datos de red activa, es en donde se actualiza los datos con los de la red real.
- Consideración de las funcionalidades FH (Frequency Hopping), PC (Power Control) y DTX (Transmisión Discontinua).
- Activación del plan de reserva cuando sea necesaria la intervención de otros grupos de canales, esto es cuando se satura mucho el plan de frecuencias o cuando se tiene muchos problemas de interferencia.

Luego se realiza la asignación de frecuencias y seguido de esto se tiene la evaluación de la asignación de frecuencias con la ayuda de *plots* de C/I y del FER (*Frame Error Rate*).

Las causas de interferencia pueden ser:

- Internas, producidas por el equipo en el propio emplazamiento, donde se involucran elementos como los osciladores locales y la selectividad de los filtros. Otros aspectos a considerar pueden ser las reflexiones internas y los canales adyacentes del propio sistema. En general, cuestiones que quedan dentro del alcance del diseñador.
- Externas, con interferencias procedentes de otros radioenlaces (terrestres y espaciales) o incluso de vanos dentro de la misma ruta del propio radioenlace.

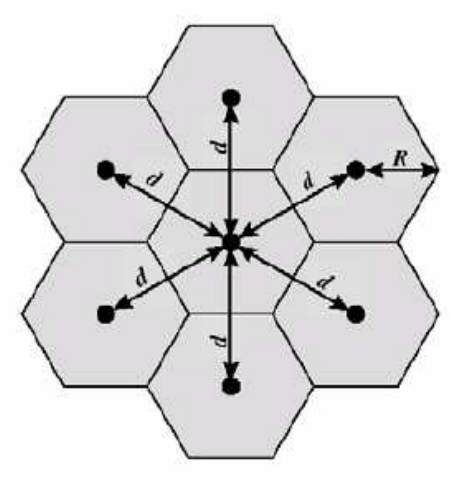
Los tipos de interferencia se dividen en:

- Relación Portadora a interferencia (C/I) variable, cuando la señal interferente es constante pero la señal principal presenta desvanecimientos en el trayecto o cuando en general, el “fading” (desvanecimiento) que experimenta la señal deseada es independiente de la señal interferente.
- Relación Portadora a interferencia (C/I) constante, cuando la señal deseada y la interferente se ven afectadas por el mismo desvanecimiento por viajar sobre el mismo trayecto.

2.1.3 REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS

Básicamente la reutilización de frecuencias consiste en lograr que muchas celdas no adyacentes usen las mismas frecuencias sin interferir las transmisiones de unas con las de otras. Este concepto está basado en las siguientes ideas: un canal de radio para una conversación telefónica consiste en un par de frecuencias, una para cada dirección de envío (base a móvil y móvil a base). Se insiste en que celdas adyacentes tienen que utilizar distintas frecuencias, ya que, en caso contrario, habría interferencia entre las conversaciones que las usarán. Para ilustrar este punto se debe recordar que en ocasiones, al viajar por alguna carretera y estar escuchando radio llega un momento en que se pueden escuchar simultáneamente dos estaciones sin modificar la sintonía del receptor. Conforme uno avanza disminuye la intensidad de una de ellas y aumenta la de la otra. Este efecto es similar al descrito en las redes celulares.

Debe estar claro que celdas geográficamente separadas sí pueden emplear los mismos conjuntos de frecuencias sin que haya un efecto perjudicial entre las conversaciones que las usen. La limitante que existe en cuanto al número de usuarios del servicio en una celda se debe a la cantidad de frecuencias que se tienen asignadas en esa celda. Sin embargo, si se reduce el tamaño de las celdas, lo cual equivale a reducir el área de cobertura de las mismas (esto se logra disminuyendo la potencia transmitida, la altura de las antenas de las bases o ambas) se puede aumentar el número total de usuarios de una red, debido a que si bien el número de usuarios por celda no aumenta, sí se incrementa el número total de celdas



Fuente: www.info-ab.uclm.es/asignaturas/42638/pdf/cap4.pdf

Figura 2.3 Celdas hexagonales

Al usar celdas hexagonales como se puede ver en la figura 2.5, se tiene que el radio de la celda es aproximadamente el radio del círculo que lo circunscribe y para una celda con radio R, la distancia a una celda adyacente es $\sqrt{3}R$.

Celdas exactamente hexagonales no se tiene en la práctica, porque su zona de cobertura depende de muchos factores.

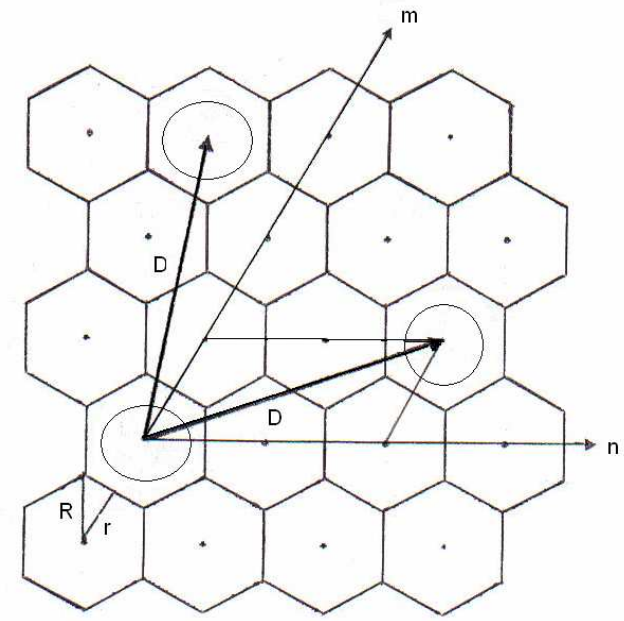
"Para la reutilización de frecuencias se tiene que:

- Cada celda tiene su estación base con una banda de frecuencias asignada.
- Al ser baja la potencia de transmisión, el área de cobertura es pequeña.
- Es posible reutilizar bandas de frecuencias en distintas celdas no adyacentes.
- Es importante diseñar la asignación de frecuencias a celdas, usando eficientemente la reutilización de frecuencias"[3].

[3] www.info-ab.uclm.es/asignaturas/42638/pdf/cap4.pdf

El objetivo es conocer cuantas celdas intermedias debe haber entre dos celdas que utilizan la misma banda de frecuencias para que no haya interferencia. Son posibles varios patrones de reutilización.

En redes hexagonales homogéneas se puede distribuir frecuencias en cada celda en forma simétrica. Se define el tamaño K del *cluster* como un grupo de celdas, en el que cada frecuencia es usada solo una vez, a continuación se tiene la relación entre el tamaño del cluster, el radio de la celda y el reuso de distancia:



Fuente: Siemens, Network Planning Basics

Figura 2.4 Re-uso de frecuencia y tamaño del *cluster*

De la figura 2.6 se tiene que:

Radios de celdas externas R

Radios de celdas internas $r = 0.5 \times \sqrt{3} \times R$ [Ecuación 2.1]

Distancia de Re-uso $D = R \times \sqrt{3 \times (n^2 + m^2 + nm)}$ [Ecuación 2.2]

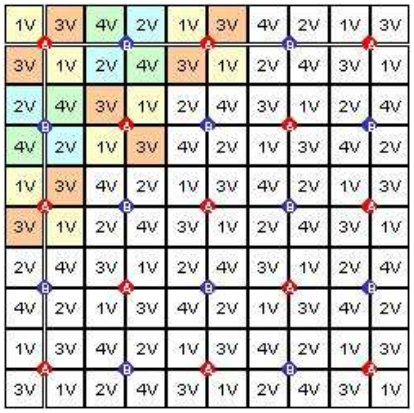
$$\frac{D}{R} = \sqrt{3 \times K}$$ [Ecuación 2.3]

Tamaño del Cluster: $K = (n^2 + m^2 + nm)$ [Ecuación 2.4]

$n,m = 0, 1, 2, 3, \ldots..$

$K = 1, 3, 4, 7, 9, 12, 16, 19, \ldots.$

"En la Figura 2.8 se tiene un esquema de planificación celular. En este tipo de sistemas se escoge una geometría de las celdas cuadrada para cubrir una determinada área de cobertura, de donde se desprende que existirá solapamiento entre las celdas vecinas si las antenas radian uniformemente en el interior del ancho del haz. En la Figura 2.8 se observa que existen celdas de dos tipos (A y B) uniformemente distribuidas a lo largo de toda la zona de cobertura. Las celdas de tipo A trabajan a frecuencias F1 y F3, mientras que las celdas de tipo B trabajan a frecuencias F2 y F4. Al lado de cada celda de tipo A existe una celda de tipo B para evitar interferencias y a su vez, la orientación de los sectores en las celdas de tipo A situadas diagonalmente es distinta por idéntico motivo. En este esquema de planificación, no obstante, la reutilización de frecuencias que se consigue es del 100 %.

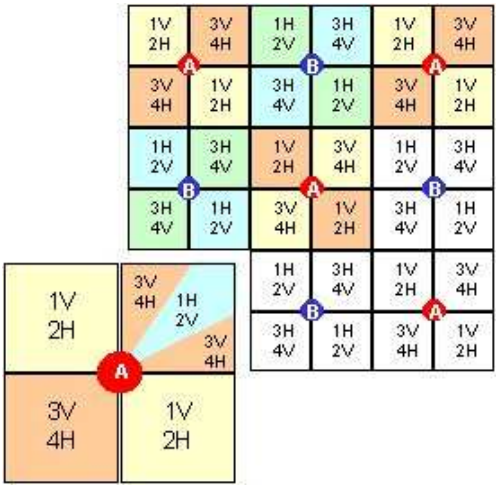


Fuente: http://www.radioptica.com/Radio/planificacion.asp?pag=5

Figura 2.5 Planificación celular con 4 frecuencias, 1 polarización y sectores de 90 grados.

Un esquema de planificación celular alternativo sería el mostrado en la Figura 2.9. En este caso, se emplean polarizaciones vertical y horizontal en cada uno de los sectores de las celdas. Inicialmente se utiliza polarización vertical dado que proporciona menores pérdidas de propagación y posteriormente, para completar

el exceso de tráfico se utilizan enlaces con polarización horizontal. La reutilización de frecuencias es ahora del 200 %, por lo que el sistema de la Figura 2.9 es el doble de eficiente que el de la Figura 2.8. Adicionalmente, en algunos sectores con mayores niveles de tráfico es posible aumentar la sectorización. En la Figura 2.9 se muestra esquemáticamente el modo de realizar una sectorización de 30 grados en uno de los sectores de la celda de tipo A”[4].



Fuente: http://www.radioptica.com/Radio/planificacion.asp?pag=5

Figura 2.6 Planificación celular con 4 frecuencias, 2 polarizaciones y sectores de 90/30 grados.

Se debe tener en cuenta la recomendación GSM 05.05 sobre el tamaño mínimo de la relación Portadora – Interferencia (C/I):

- Interferencia co-canal : C/I = 9 dB
- Interferencia canal adyacente (primer orden) : C/Ia1 = -9 dB
- Interferencia canal adyacente (segundo orden) : C/Ia2 = -41 dB

Para la reducción de interferencia se pueden tener varios métodos como:

a) Implementando procedimientos seleccionados como:
   - *Frequency Hopping.*
   - Control de potencia dinámico.

[4] http://www.radioptica.com/Radio/planificacion.asp?pag=5

- Transmisión discontinua DTX.

b) Optimizando parámetros físicos y de base de datos como:
   - Selección clave de sitios radio base.
   - Afinamiento de la altura, *tilt* (aumento o disminución de la inclinación del dispositivo -Antena-) y *azimuth* (orientación geográfica de la antena respecto al norte verdadero -geográfico-) de la antena.
   - Cambio del tipo de antena.
   - Optimización de parámetros limitando la potencia de salida.
   - Optimización de parámetros controlando regiones de *handover*.
   - Optimización de plan de frecuencias.

2.2 PLANIFICACIÓN DE CAPACIDAD

2.2.1 REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD

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"[5].

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:

---

[5] http://procesostarifarios.subtel.cl/downloads/TELMOVIL/3-6-1a_Anexo_Pub_Mem_ProyTec.pdf

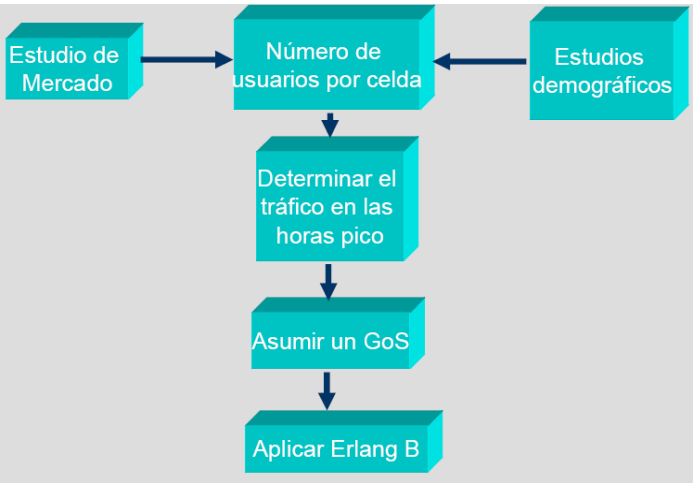
- El dato inicial seria el área a ser planeada y número de suscriptores para voz y datos en el área de planificación.
- Modelo de tráfico.
- Objetivo del dimensionamiento: probabilidad de bloqueo, retardo principal.
- Calcular el tráfico ofrecido del área de planeación; sería el resultado de multiplicar 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.
- Calculo 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.

2.2.2 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. 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 Pb.

"La capacidad corresponde al diseño de las radiobases necesarias para potenciar la capacidad de cursar tráfico en los sectores de mayor demanda y de alta concentración de personas como las ciudades"[6].



Fuente: http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/celular/Teorico/Presentaciones%20de%20las%20clases/Planificacion_Celular_Aplicada.pdf

Figura 2.7 Diagrama General para calcular el tráfico.

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 cual es la probabilidad de que una solicitud de llamada no pueda atenderse (grado de bloqueo).

[6] Documento Siemens: Network Planning Basics

- Cuando una llamada se bloquea, queda en una cola de espera. Se debe saber cual 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:

$$A = \lambda h \qquad \text{[Ecuación 2.5]}$$

Donde:

λ = 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 cual es el número total de móviles a los que se puede dar servicio en un sistema se debe seguir el siguiente proceso:

- Determinación del número de canales en el sistema (por cluster)

$$C = W / \Delta f \qquad \text{[Ecuación 2.6]}$$

Donde; W: recurso espectral; Δf: separación de canales

- Número de canales en una celda

$$N = C / J \qquad \text{[Ecuación 2.7]}$$

Donde, J: número de celdas

- El número de canales de tráfico (porque un canal es para señalización)

$$N - 1 \qquad \text{[Ecuación 2.8]}$$

- Tráfico total ofrecido

$$A = \frac{M \cdot L \cdot H}{3600}(Erlang)$$ **;** para un móvil: $$a = \frac{H \cdot L}{3600}(Erlang)$$

[Ecuación 2.9] y [Ecuación 2.10]

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

- Intensidad de tráfico en la celda, está es la fórmula inversa de la fórmula de Erlang B; p=B(N,A).

$$A = B^{-1}(N-1, p) \qquad \text{[Ecuación 2.11]}$$

- Número de móviles en la celda

$$m = \frac{A}{a} \qquad \text{[Ecuación 2.12]}$$

- Densidad de tráfico por celda

$$p_0 = \frac{A}{S_0} \qquad \text{[Ecuación 2.13]}$$

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

- Superficie de un cluster

$$S_r = J \cdot S_0 \qquad \text{[Ecuación 2.14]}$$

- Índice de reutilización

$$Q = \frac{S}{S_0} + 1 \qquad \text{[Ecuación 2.15]}$$

Donde; S: superficie de cobertura

- Número total de móviles a los que se puede dar servicio

$$M = Q \cdot J \cdot m \qquad \text{[Ecuación 2.16]}$$

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 o 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 si 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 x 2 = 14 *time slot* para tráfico de voz por sector.

2.3 PLANIFICACIÓN DE COBERTURA

2.3.1 REQUERIMIENTOS DE COBERTURA

La cobertura del sistema se refiere a las zonas geográficas en las que se va a prestar el servicio. La tecnología más apropiada es aquella que permita una máxima cobertura con un mínimo de estaciones base, manteniendo los parámetros de calidad exigidos por las necesidades de los usuarios. La tendencia en cuanto a cobertura de la red es permitir al usuario acceso a los servicios en cualquier lugar, ya sea local, regional, nacional e incluso mundial, lo que exige acuerdos de interconexión entre diferentes operadoras para extender el servicio a otras áreas de influencia diferentes a las áreas donde cada red ha sido diseñada.

Las características de cobertura de una red celular se encuentran determinadas principalmente por la ubicación y la configuración de las radio bases.

Existen factores que deben ser considerados en el diseño de la red como son:

- Características de estaciones móviles.
- Ubicación de los usuarios.
- Tipos de estaciones móviles de los usuarios (fijos/móviles)

El área de servicio dentro de un área de cobertura se encuentra limitada principalmente por la estación móvil.

La posibilidad de que un abonado logre originar y mantener una llamada se encuentra determinado por el nivel de intensidad que recibe la estación móvil de la radio base (señal *downlink*), por el nivel de interferencia co-canal (C/I), el nivel de interferencia adyacente (C/A) y por el nivel de interferencia señal a ruido (S/N).

El nivel de señal de recepción en una estación móvil depende de las pérdidas de transmisión provocadas generalmente por obstáculos entre la estación base y la estación móvil, así como también las pérdidas de propagación por espacio libre.

Para desarrollar un nuevo sitio de cobertura principalmente rural, es necesario analizar ciertos requerimientos, como por ejemplo el área de servicio o comercialización, tipo de servicio, población y el crecimiento del área proyectada.

Se tienen ciertos procedimientos para el escogimiento de un nuevo sitio para cobertura. Inicialmente se debe realizar un análisis del área geográfica, tomando en cuenta la ubicación del mayor porcentaje de asentamiento poblacional y de los principales caminos de acceso, esto se lo puede realizar por medio de cartas topográficas elaboradas por el Instituto Geográfico Militar.

Es importante tomar en cuenta que los posibles lugares elegidos, deben presentar algunas facilidades como por ejemplo camino de acceso y si es posible tendido de energía eléctrica, que debe ser corroborado con una visita de campo a los diferentes sitios.

Por medio de herramientas de predicción de cobertura, se tiene una idea de cual de las opciones es la mayormente recomendada.

Tomando en consideración estos resultados y por medio de un equipo de pruebas de campo, deben realizarse mediciones que permitirán tener una idea más real de cobertura, que no brindan las herramientas de predicción.

Con estos elementos, se tienen los criterios necesarios para elegir el lugar más apropiado para ubicar la nueva celda. La altura de la torre ayuda considerablemente a delimitar el área de cobertura, pero es necesario en el proceso de diseño elegir de manera apropiada la altura y el tipo de antenas a ser utilizadas.

Un criterio que puede ser utilizado como punto de inicio para el desarrollo de un sistema móvil celular urbano es la grilla, este criterio permite determinar la posición teórica para las nuevas celdas dentro de una zona determinada.

Las ventajas del uso de este criterio son:

- Facilidad en la expansión del sistema.
- Cobertura homogénea y características de traslape de cada celda.
- Minimizar interferencias adyacentes y co-canales con el uso de alturas, orientaciones, distancias de re-uso de frecuencias y potencias de transmisión de las celdas apropiadas.
- Simplificar ciertas consideraciones en la asignación de frecuencias.

El criterio para el uso de la grilla homogénea es aplicable en una red con características de lugares y de densidad de tráfico similares.

En la realidad existen ciertas zonas con una densidad de tráfico mayor que otras y adicionalmente las características físicas de un lugar difieren de otro, lo que obliga muchas veces a no cumplir con el patrón de orientaciones y de ubicación establecidos.

Estas variantes causan ciertos inconvenientes, como por ejemplo:

- Dificultades en futuras expansiones del sistema.
- Complejidad en la asignación de frecuencias.
- Presencia de interferencias co-canales, principalmente en lugares remotos.

Para decidir el lugar y la altura de la nueva celda, es preciso realizar ciertos procedimientos adicionales. Por medio del equipo de pruebas y utilizando antenas y potencia de transmisión reales se predice el impacto que la nueva celda causará en la red, lo que sirve para determinar las correcciones ha ser tomadas con el fin de que el usuario no sienta el cambio.
Se realiza el diseño de distintas radiobases para dar cobertura al área de servicio de interés (BTS de cobertura), se tiene que analizar factores como el área mínima requerida para obtener una licencia en un concurso nacional, ya aquí esta de por medio el interés económico, porque dependiendo de la ubicación de los centros potenciales de demanda de tráfico y las zonas de cobertura se podrá tener un servicio de calidad (continuidad de servicio).

El resultado del proceso de planificación de cobertura en redes GSM, es obtener los lugares en donde se tiene cobertura y la intensidad de señal que se tendrá en cualquier lugar dentro de la celda.

El procedimiento en general para la planificación de cobertura es:

- Tener como dato inicial el área a ser planificada.
- Definir el esquema de codificación y el *codec* (codificador): debe designarse un *codec* de voz en la celda, esto lo da el operador.
- Definición de la cobertura: serian las áreas donde con una cierta probabilidad, el nivel de señal no es más pequeño que el umbral de recepción del *codec* de voz designado.
- Determinación de las pérdidas máximas de trayecto: calculado por medio del *link budget* (presupuesto del enlace), el cual involucra el cálculo para *uplink* y *downlink*. Se toman en cuenta la potencia de transmisión, pérdida en el transmisor y receptor ya sea de cable, conectores, *duplexers* u otros; niveles de sensitividad, ganancias de las antenas, pérdidas por cuerpo, pérdida de penetración por construcciones, márgenes de *Fading* (desvanecimiento) de *Rayleigh*, margen de interferencia, margen de *fading* log-normal, pérdidas *indoor*.

- Determinación del diámetro de la celda: se lo determina por medio de la fórmula de pérdida de trayecto para el *codec* de voz designado, aplicando algún modelo de propagación de ondas como por ejemplo, Okumura-Hata.
- Determinación del número de celdas necesarias para la cobertura, que es la división entre el área a ser cubierta y el tamaño de la celda, que seria el resultado final.

2.3.2 SISTEMA RADIANTE DE UN SITIO BTS PROMEDIO:

El dimensionamiento básicamente es el siguiente:

- Un *shelter* o sala de equipos que contiene los equipos de microondas, celular, cableado, energización, presurización, DDF (*Digital Data Feed*), distribuidores, etc.
- Escalerillas horizontales y verticales. Como se puede ver en la figura 2.13.
- Torres de 15, 30, 42, 50, 60, 72, 90 m, base triangular, monopolo o base cuadrada.
- Equipos *indoor* u *outdoor* de la BTS.
- *Feeder* (alimentador), latiguillos (*jumpers* que están entre los BTS y los *feeder*) superiores, inferiores, sistemas y kits de aterrizaje, anclamiento, ángulos, conectores, barras de tierra, cables de energía, bases metálicas, bálizas, pararrayos, antenas, etc.
- Antenas sectorizadas con aperturas de 30, 60, 90º, etc.
- Tableros eléctricos, sistemas de seguridad, cerramientos, bases de hormigón, etc.

En la figura 2.13, se tienen los equipos que se instalan en un dimensionamiento básico.

Fuente: Radiación y Radiocomunicación, 4º Ingeniería de Telecomunicación, Tema 9º, Juan Murilo

Figura 2.8 Equipos que por lo general se implementan en un dimensionamiento básico.

2.3.3 POSICIÓN ESTRATÉGICA

Consiste en la ubicación optimizada de un sitio BTS para llenar la demanda de cobertura, capacidad y calidad en la red.

Se pueden tener de 2 tipos:

- El realizado en la herramienta de predicción, el cual se lo hace mediante los mapas de áreas de búsqueda correspondiente a la ubicación de un sitio nuevo para adicionarlo a la red, pero para la fase de adquisición del sitio real de implementación.
- Y el realizado en la misma herramienta de predicción, el cual se hace para continuidad de cobertura, expansión de la red u optimización de la ubicación de los sitios; se lo hace mediante la generación de *plots* de

cobertura, afinando la mejor ubicación y mejor cobertura del área a planearse, pero para la fase de diseño.

La mejor ubicación en teoría es el sitio más alto, pero con línea de vista para posibles enlaces microondas, pero si no hay factibilidad de línea de vista para microondas, quedaría como sitio con enlace satelital. Además el sitio debe estar ubicado donde existan servicios básicos como luz, agua, teléfono, etc.; que sea accesible de llegar al mismo, que sea construible o arrendable de acuerdo a las accesibilidades de compra o alquiler de terreno y que por supuesto brinde la cobertura mas deseada para los objetivos necesarios de diseño en la red.

2.3.4 CONTINUIDAD DE COBERTURA

Es el procedimiento mediante el cual se realiza una expansión de cobertura en la red por medio de la adición de sitios BTS, con el objetivo de brindar cobertura, capacidad y calidad en la red móvil.

Cada una de las BTSs nuevas se las planea de acuerdo a:

- Posición estratégica.
- Dimensionamiento de cobertura.
- Dimensionamiento de capacidad.
- Dimensionamiento de calidad.
- Sobrelapamiento entre niveles de cobertura rural – rural, rural -suburbana para cubrir carreteros, poblaciones, ciudades, sitios especiales con necesidades de cobertura y servicios de la red ofrecidos.
- Se lo hace para cubrir huecos de cobertura y tener calidad de voz en los servicios de la red.

El primer problema al que se enfrentan las redes celulares en su despliegue es el que no es posible, inicialmente garantizar el mismo nivel de cobertura.

Uno de los problemas asociado a la operación de redes multimodo es determinar cómo se garantiza la continuidad de los servicios al pasar de una red a otra. Para ello hay que tratar de analizar y optimizar dos aspectos fundamentales:

1. La asignación de servicios portadores de radio para las distintas aplicaciones y servicios previstos.

2. Los criterios para realizar traspasos o reselecciones de celda entre redes, garantizando a los usuarios el mantenimiento en la red destino, en la medida de lo posible, de la calidad de servicio ofrecida en la red original.

2.4 PARÁMETROS DE CALIDAD

La calidad en general es el Grado en el cual un conjunto de características esenciales satisfacen ciertos requerimientos, por tal razón gestionar la calidad es uno de los aspectos más importantes en el diseño de redes de telefonía móvil, así como de los servicios que se prestan en ellas. Dependiendo de los elementos implicados, se puede diferenciar el concepto de calidad de tal forma que se tiene la calidad desde el punto de vista del cliente y la calidad desde el punto de vista de la red.

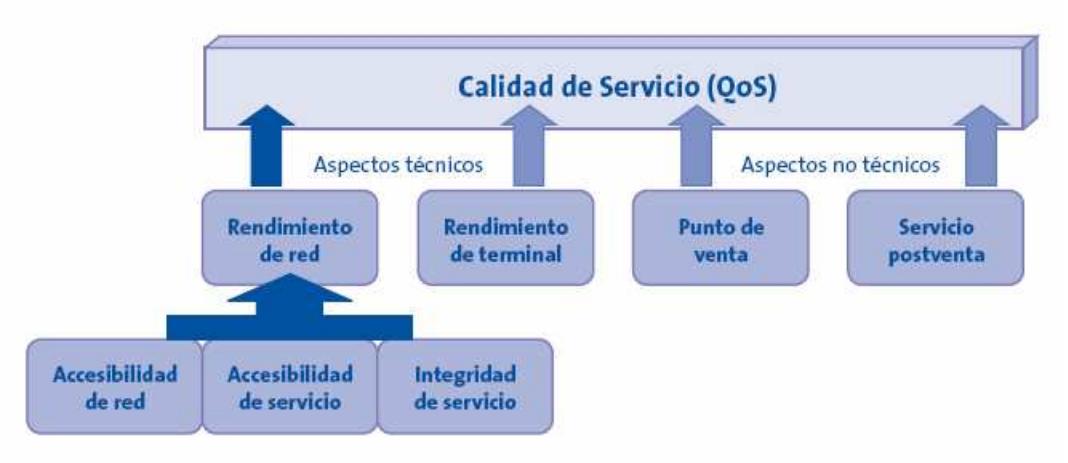
Desde el punto de vista del cliente, la calidad se entiende como la satisfacción de éste; es decir, el grado de cumplimiento de las expectativas del servicio global frente a la percepción subjetiva del funcionamiento de la red y del terminal, así como del servicio prepago y pospago.

Desde el punto de vista de la red, la calidad ofrecida es el resultado de las prestaciones ofrecidas por cada una de las partes implicadas; esto es, los terminales, la red de acceso, la red de transporte y los servicios.

Por otra parte, al hablar de calidad en la red, el concepto más ampliamente aceptado es el de “calidad de servicio”, también conocido por QoS (*Quality of*

Service) y que la ITU-T define como “el efecto colectivo de funcionamiento del servicio que determina el grado de satisfacción del usuario”.

“Es importante destacar que los aspectos de calidad que se pueden evaluar deben ser mensurables de alguna manera, por lo tanto se deben fijar para ellos metas alcanzables por los operadores móviles con las tecnologías disponibles en cada momento y deben cumplir unos criterios de satisfacción óptimos para los clientes.



Fuente: http://www.telefonica.es/informeanual/esp/pdf/04clientes.pdf

Figura 2.9 Aspectos técnicos de la calidad de servicio

Los parámetros de medida de la calidad de las redes y servicios móviles son de muchos tipos y el tener en cuenta uno u otro depende del tipo de servicio que se esté prestando en la red. Se pueden agrupar según tres aspectos, que son:

- **Accesibilidad de la red.** Se refiere a la disponibilidad de recursos de red suficientes para conectarse a un servicio: cobertura, disponibilidad de la red, etc. En este aspecto se incluyen parámetros como:

  - **El nivel de potencia recibido.** Depende de la posición del móvil dentro de la celda e indica la zona de cobertura que tiene cada celda de la red móvil. La falta de cobertura temporal o permanente de la red en una determinada ubicación es una de las causas más frecuentes de pérdidas de calidad por

parte de la red móvil. El parámetro que indica la cobertura de un terminal móvil es el RxLev en la tecnología GSM.

- **La disponibilidad de la red.** Cuando un usuario intenta acceder a un servicio, puede que la red atienda esta petición y por tanto provea el servicio solicitado sin mayor problema (en este caso será una petición que ha evolucionado correctamente) o puede que por el contrario la petición no llegue a desembocar en la provisión del servicio solicitado. Las causas por las cuales no es posible realizar la provisión del servicio pueden ser varias, pero en todos los casos el efecto que sufre el usuario es el de un defecto o pérdida de calidad. Entre las posibles causas se encuentran por ejemplo, la congestión de la red o la falta de recursos para atender al usuario, las interferencias creadas por otros equipos circundantes que hacen que no se puedan atender las peticiones de un usuario, etc.

➢ **Accesibilidad del servicio**. Incluye los aspectos relacionados con la disponibilidad del servicio: tiempo de acceso, fuera de servicio, etc. En este segundo caso se incluyen parámetros como:

- **El tiempo de acceso a un servicio.** Es el tiempo que transcurre desde el momento en que el usuario realiza la petición de acceso a un determinado servicio hasta el instante en que se recibe la respuesta de éste. La contestación a la petición de acceso puede ser la provisión del servicio o la indicación de que el servicio no está disponible, que puede deberse bien a la falta de recursos por congestión del servicio o bien a la indisponibilidad de éste por avería.

- **Las indisponibilidades del servicio.** Las indisponibilidades del servicio se pueden deber a muchas causas, entre las que destacan las siguientes: servicio caído por avería, por congestión de recursos, por desactivación temporal, etc.

- **El resultado del acceso al servicio.** El resultado de un acceso a un servicio puede ser correcto si el servidor responde correctamente a la petición o fallido si el servidor no responde o no proporciona alguna de las respuestas esperadas.

➢ **Integridad del servicio.** Incluye los aspectos relacionados con la disponibilidad del servicio: tiempo de acceso, fuera de servicio, etc. En este segundo caso se incluyen parámetros como:

- **Las caídas del servicio.** Una caída de un servicio significa la imposibilidad de continuar accediendo a él tras establecerse la comunicación en un primer momento, siempre y cuando la imposibilidad sea motivada por cualquier causa ajena a la voluntad de sus usuarios y siempre que éstos se encuentren en todo momento en la zona de cobertura de la red.

- **La calidad de la señal vocal.** Permite valorar la calidad de la señal de voz recibida por el terminal en cada instante y constituye por tanto una indicación del estado de la calidad de la red. En el caso de GSM/GPRS se indica con el parámetro RXQual.

- **La calidad de la transmisión de datos.** Permite valorar la calidad en la transmisión de ficheros. Se mide mediante la tasa de error BER, que mide la calidad del canal establecido por la cantidad de errores que se producen en la transmisión de datos.

- **El tiempo de navegación.** Es el tiempo que tarda el usuario en recorrer el árbol de navegación que existe desde la entrada en el servicio hasta la llegada a la página deseada.

- **La velocidad de acceso a un servicio o velocidad de transmisión (“throughput”).** Es la cantidad de bits por segundo que se miden en una determinada transmisión durante el tiempo que dura la conexión.

- **La efectividad del servicio.** Es el porcentaje de accesos al servicio realizados y completados satisfactoriamente, frente a la totalidad de los accesos realizados."[7]

2.4.1 CALIDAD DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES EN ECUADOR

Si bien es cierto que la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en sus recomendaciones establece unos parámetros mínimos de calidad de servicio para telefonía móvil, es responsabilidad de los organismos de regulación y control de cada país el hacer cumplir éstos y además de ser necesario formular sus propios reglamentos en los que establezcan normas de calidad para servicios de telecomunicaciones.

En el caso del Ecuador, en junio de 2006 la SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones) dentro de los Planes Técnicos Fundamentales hizo la propuesta de una Norma de Calidad de Los Servicios de Telecomunicaciones, la misma que se puso a consideración del CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) para su aprobación.

Dentro de esta Norma de Calidad de Los Servicios de Telecomunicaciones se definen algunos parámetros de Calidad. "Estos parámetros de QoS se han definido con un lenguaje sencillo y de fácil comprensión para los usuarios/clientes y operadores; y están concebidos de tal forma que puedan ser fácilmente comparables los niveles de QoS alcanzados por éstos. De esta manera se permite que el usuario/cliente pueda diferenciar el nivel de calidad conseguido por los diferentes operadores.

[7] Las Telecomunicaciones y la Mobilidad en la Sociedad de la Información, Calidad en las Redes Móviles. http://www.telefonica.es

De acuerdo a la metodología empleada para identificar los parámetros de QoS, éstos se identifican por la función y el criterio de acuerdo a la siguiente tabla:“[8]

FUNCIÓN GENERAL	FUNCIÓN ESPECÍFICA	CRITERIO
1. GESTIÓN DE SERVICIO	1. Ventas y actividades precontractuales 2. Prestación 3. Alteración 4. Atención al cliente 5. Reparaciones 6. Cese	1. Velocidad 2. Precisión 3. Disponibilidad 4. Fiabilidad 5. Seguridad 6. Simplicidad 7. Flexibilidad
2. CALIDAD DE LA CONEXIÓN	1. Establecimiento de la conexión 2. Transferencia de la información 3. Liberación de la conexión	
3. FACTURACIÓN	1. Facturación	
4. GESTIÓN DE LA RED / SERVICIO POR EL CLIENTE	1. Gestión de la red / servicio por el cliente	

Fuente: http://www.conatel.gov.ec/website/audiencias/Norma_QoS_v1_DGP.pdf

Tabla 2.1 Identificación de los parámetros de calidad

De acuerdo a esto, los parámetros de calidad para telefonía móvil propuestos por la SENATEL, se resumen en la tabla 2.2

[8] CONATEL, SENATEL. PLANES TÉCNICOS FUNDAMETALES – Norma de Calidad de los Servicios de Telecomunicaciones

Indicador en Ecuador		
Función General	**Función Específica**	**Nombre del Parámetro**
Gestión del Servicio	Atención al cliente	RELACIÓN CON EL CLIENTE
		PORCENTAJE DE RECLAMOS GENERALES
		TIEMPO PROMEDIO DE RESOLUCIÓN DE RECLAMOS
	Prestación	COBERTURA DE RED
Facturación	Facturación	PORCENTAJE DE RECLAMO DE FACTURACIÓN
		CALIDAD DE PRESENTACIÓN DE FACTURAS
Calidad de la conexión	Establecimiento de la conexión	PORCENTAJE DE LLAMADAS COMPLETADAS
		TIEMPO PROMEDIO DE ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA
		TIEMPO PROMEDIO DE ESPERA POR RESPUESTA DE OPERADOR HUMANO
	Transferencia de Información	PORCENTAJE DE LLAMADAS CAÍDAS
		CALIDAD DE CONVERSACIÓN
		PORCENTAJE DE MENSAJES CORTOS
		TIEMPO DE ENTREGA DE MENSAJES CORTOS

Tabla 2.2 Parámetros de calidad para telefonía móvil y mensajes cortos propuestos por la SENATEL

CAPÍTULO 3. ESTUDIO Y DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA PARA LAS REDES CELULARES CON TECNOLOGÍA GSM

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza el estudio de los principales métodos de optimización de cobertura para redes celulares; en este proyecto se los enfoca exclusivamente para la tecnología GSM, estudio que servirá para el siguiente capítulo en el que se realiza la simulación de los métodos de optimización de cobertura más importantes para lograr su mejor entendimiento.

Los principales métodos de Optimización de cobertura celular son:

- Optimización de Cobertura Mediante Sectorización.
- Optimización de Cobertura Mediante Microceldas y Picoceldas.
- Optimización de Cobertura Mediante División de Celda (*Cell Spliting*).
- Optimización de Cobertura Mediante Análisis de Interferencia.
- Optimización de Cobertura Mediante el uso de Antenas Inteligentes.
- Optimización de Cobertura Mediante el uso de Algoritmos.
- Optimización de Cobertura Mediante Manipulación de Antenas.
- Optimización de Cobertura Mediante Estudio y Análisis de los Parámetros de Calidad.
- Optimización de Cobertura Mediante Pruebas de Campo o *Drive Test*.
- Optimización de Cobertura Mediante Simulación de *Plots* de Cobertura o Predicciones de Cobertura.
- Optimización de Cobertura Mediante *Plots* de Cobertura realizando una consideración de zonas que se las puede tomar como huecos de cobertura.
- Optimización de Cobertura Mediante Aumento de Capacidad.

i. OPTIMIZACIÓN DE REDES CELULARES

La optimización de una red es un proceso iterativo, el que mejora la calidad y desempeño de una red y además hace que el funcionamiento de la red sea más eficiente. Como en cualquier proceso de optimización, la red no funcionará óptimamente al inicio, esto puede ocurrir por alguna de las siguientes razones:

- Inexactitudes sistemáticas; por ejemplo, falla de algoritmos o del software de la herramienta utilizada.
- Naturaleza estadística de los procesos; por ejemplo, tráfico y propagación RF.
- Naturaleza dinámica de los procesos; por ejemplo, los cambios de los teléfonos de los suscriptores.
- Consideraciones falsas de planeación, datos de entrada y/o modelos de planeación.
- Incremento del número de suscriptores.
- Errores de instalación; por ejemplo, un mal cableado.
- Problemas de hardware y software.

ii. ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN

Se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para lograr una adecuada optimización:

- Antes de la optimización se tiene que dejar listo todo lo competente al hardware.
- Durante y después de la optimización se deben realizar mediciones de los datos de desempeño de la red, atender reclamos de clientes y realizar los *drive test* (pruebas de campo). Optimizar a través de parámetros físicos (*azimuths*, *down tilts*) y a través de parámetros de base de datos en el BSC.

Además se pueden seguir los siguientes pasos en todo el proceso de optimización:

- ***DRIVE TEST* (Pruebas de Campo):** post-procesamiento de información y su respectiva evaluación.
- **AJUSTE DE COBERTURA:** por medio de los resultados en el *drive test* y las estadísticas de la red, se realizará el ajuste de cobertura de modo que se limite o expanda, evitando la dispersión de la señal fuera del área necesaria, lo que facilitará la planeación de frecuencia y el control de los *handovers*. Los ajustes de cobertura se lo realizará a través de cambios físicos (ya sea por medio de *azimuth*, *tilt*, cambio de antena, cambio de posición de antena y cambio de altura de antenas).
- **PLAN DE FRECUENCIA:** se lo hará mediante planificación manual (fija convencional) de los BCCH (*Broadcast Common Control Channels*) y con *Hopping* SiFH (*Site Frequency Hopping*) con rehúso AxB para los TCH (*Traffic Channel*) y algunos BCCH. Los ajustes en frecuencia serán ejecutados con el objetivo de mejorar la calidad debido a problemas de interferencia detectados ya sea en el *drive test* o en las estadísticas de red.
- **ANÁLISIS ESTADÍSTICO:** mediante reportes periódicos de los parámetros y KPI's de la red y su interpretación, reflexión y soluciones a problemas de sus indicadores y/o contadores respectivos usando los métodos antes descritos.
- **REALIZACIÓN DE REPORTES:** Los mismos que deben incluir lo siguiente:
    - Estadísticas de la red, con indicadores principales, evolución de los mismos y lista de peores sitios.
    - *Plots* (diagramas) con recorridos de *drive test* que contienen, RxLev (nivel de recepción), FER (*Frame Error Rate*), *Timing Advance* (ritmo de avance), MS_*Power* (Potencia de la Estación Móvil), *DropCalls* (Caídas de llamadas), *Fail Access* (Fallas de Acceso), *Fail Handovers* (*Handover* fallidos), y RxLev de los canales BCCH.
    - Análisis realizados de los peores sitios de la red.
    - Implementación, cambios ejecutados y su resultado.
- **ATENCIÓN Y RESOLUCIÓN DE RECLAMOS DE CLIENTE:** Los reclamos del cliente pueden ser respecto de cobertura o calidad de la red

GSM. Estas se atenderán y solucionarán mediante los cambios en parámetros físicos o de base de datos.

iii. MEDICIONES DE DATOS DE DESEMPEÑO

Estas mediciones son muy útiles para el operador de red; como por ejemplo, para localizar las áreas problemáticas tan fácil como le sea posible y también para verificar mejoras de la optimización de la red.

En lo que se refiere a la optimización de la red de Radio hay algunas mediciones de desempeño propias para GSM y adicionalmente existen algunas específicas las cuales son dadas por el proveedor al operador de red.

En general las mediciones de desempeño pueden funcionar continuamente, periódicamente o esporádicamente, para un corto o largo tiempo, observando las partes más pequeñas o más grandes de la red.

Los contadores relacionados podrían, en principio, ser actualizados continuamente durante el periodo de observación, pero es más frecuente el uso de un Método de Escaneo. Cuando se habla de Método de Escaneo se refiere a que el sistema cuenta el número de eventos no continuos, pero solo en tiempos particulares. Con este método se tendrán algunas incertidumbres en los resultados de la medición. El error de desempeño nunca puede ser estimado usando métodos estadísticos. En general, el intervalo más pequeño de escaneo es el de más alta precisión. Los intervalos de escaneo típicos son de 100 m o 500 m.

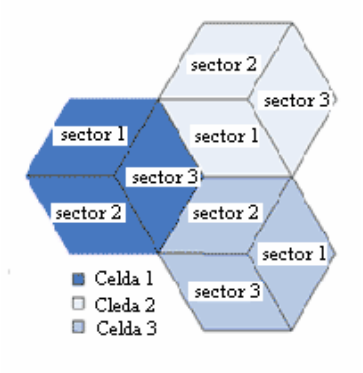
3.1 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE SECTORIZACIÓN

Para tener una mejor visión de este método de Optimización es necesario tener claro en que consiste la sectorización y esto se observa a continuación.

La sectorización ocurre cuando las celdas se dividen en sectores, en lugar de utilizar una antena que irradia señal equitativamente en todas las direcciones (antena omnidireccional), se utilizan antenas que solo irradian haces angostos de 120º (en un arreglo de tres sectores) ó 60º (en un arreglo de seis sectores).

Se puede sectorizar la radiación concentrando la potencia hacia un determinado sector. De esta manera se trata de aprovechar la potencia enviada al celular, dado que éste solo puede estar en un lugar determinado y la potencia enviada en otras direcciones se perdería. Se debe tomar en cuenta que en las antenas utilizadas para la sectorización, el diagrama de radiación no es uniforme, porque en la bisectriz del sector la intensidad aumenta y en los extremos disminuye.

En zonas donde la demanda de tráfico es muy alta, los sectores de 120º no son operativos, en esté caso normalmente se instalan seis antenas en cada estación base que suponen seis sectores de 60º, si un móvil sale de un sector y entra en otro que pertenece a la misma estación base, no se produce *handover*, partiendo del concepto de que *handover* es el cambio de la estación base al que esta conectado un terminal móvil, lo que ocurría es un cambio de asignación de antena.



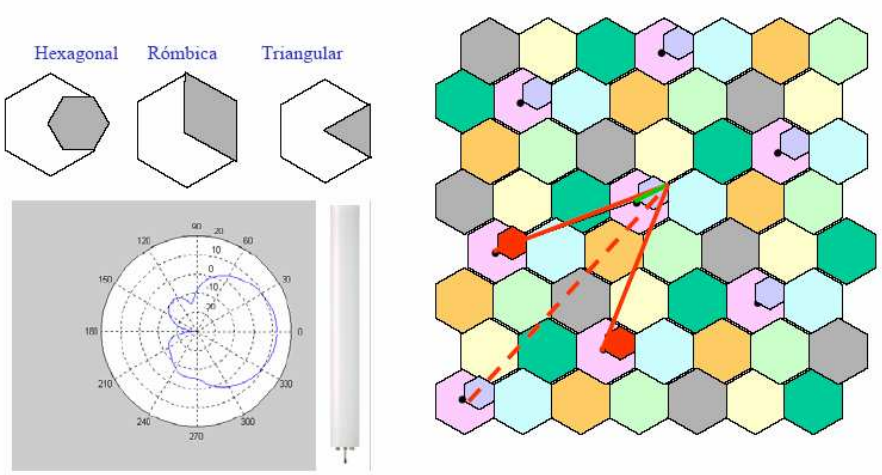
Fuente: http://www.cujae.edu.cu/revistas/telematica/Articulos/302.htm

Figura 3.1 Celdas sectorizadas con sectores de 120º

La sectorización permite tener un pequeño incremento en la capacidad y además se puede afrontar una mayor pérdida por espacio libre debido a que la ganancia de las antenas sectoriales le da al móvil una señal más fuerte, lo que incrementa el rango de cobertura. Además, en las ciudades, la sectorización previene las reflexiones multitrayecto que podrían ocurrir si se utiliza una antena omnidireccional, debido a que en un sector las señales se envían en un haz más angosto reduciendo la posibilidad de reflexiones.

La configuración sectorizada de las estaciones base permite utilizar menor potencia en los transmisores, debido a que una antena omnidireccional típicamente tiene una ganancia de 11dBi mientras que una antena utilizada en un sector tiene una ganancia promedio de 18dBi, permitiendo un ahorro potencial de 6dB.

En la figura 3.2 se tiene los diferentes tipos de geometrías sectoriales y se puede ver el diagrama de radiación para un tipo hexagonal.

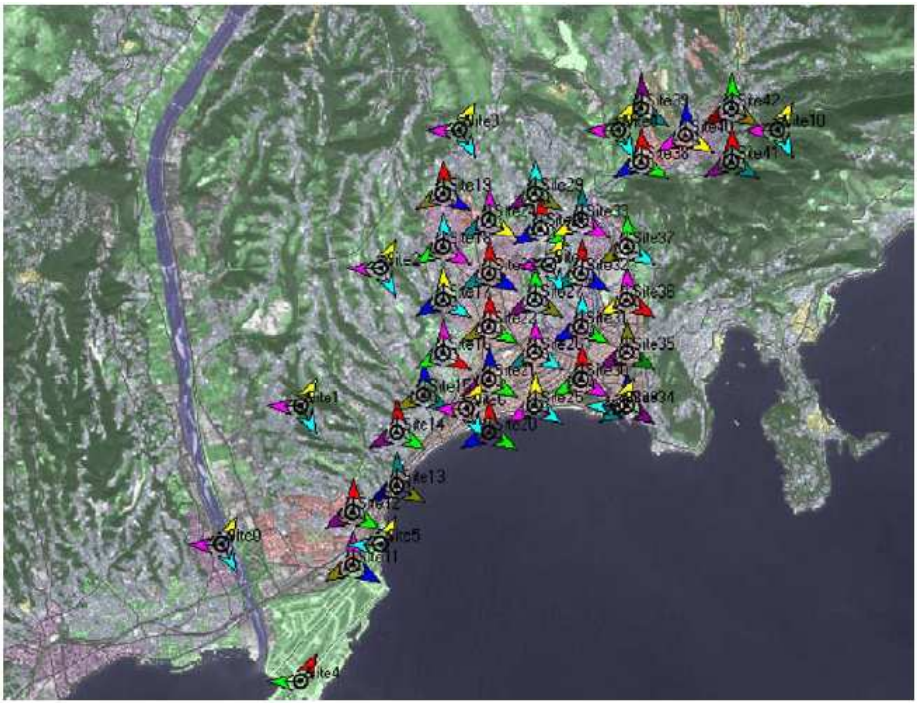


Fuente: Radiación y Radiocomunicación, cáp. 9, Autor: Carlos Crespo Cadenas

Figura 3.2 Tipos de geometrías sectoriales

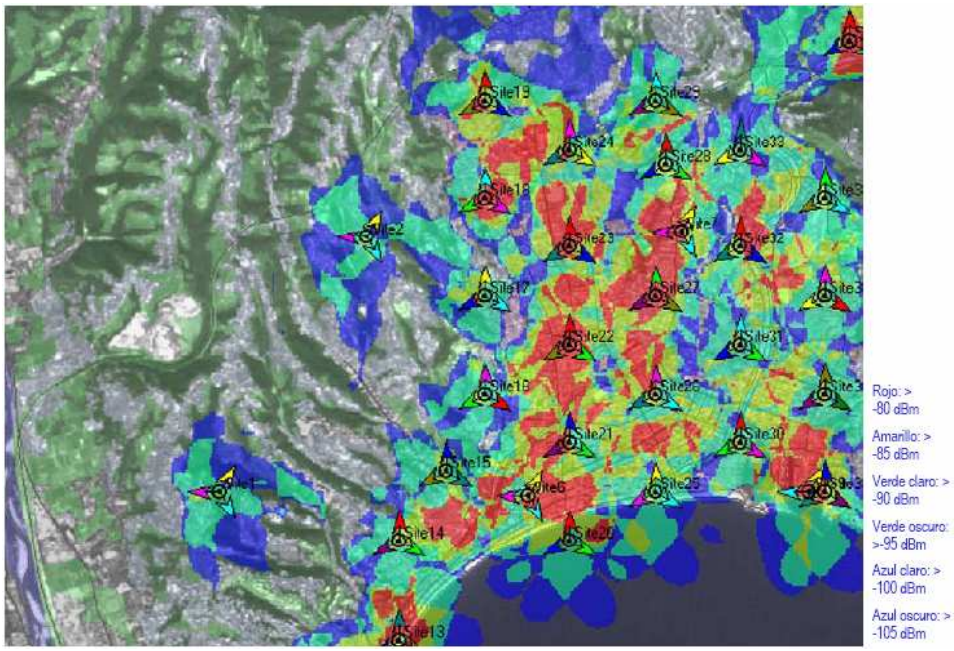
En la figura 3.3 se puede observar la ubicación de los sitios, los colores son asignados a canales, por ejemplo: el color rojo puede estar asignado al canal A, el

azul al canal B, el amarillo al C, etc. Que están ubicados en un número n de sitios y están ubicados principalmente sobre la zona urbana.



Fuente: Radiación y Radiocomunicación, cáp. 9, Autor: Carlos Crespo Cadenas

Figura 3.3 Ubicación de los Sitios



Fuente: Radiación y Radiocomunicación, cáp. 9, Autor: Carlos Crespo Cadenas

Figura 3.4 Cobertura empleando sectores de 120º

En la figura 3.4 se tiene el *plot* de la cobertura de los sitios que se tiene en la figura 3.3, se puede ver claramente los niveles de señal, cada color tiene un rango de señal, en donde se tiene que el nivel mas alto está representado con color rojo, luego sigue el color naranja, el amarillo, el verde y el color que representa la mínima señal es el color azul.

La sectorización tiene como desventaja que requiere *intracell handover*, lo que aumenta la complejidad del sistema.

La sectorización de 120º reduce el número de interferentes co-canal de 6 a 2.

El proceso a seguir para optimizar cobertura mediante este método se puede observar en el siguiente diagrama de flujo:

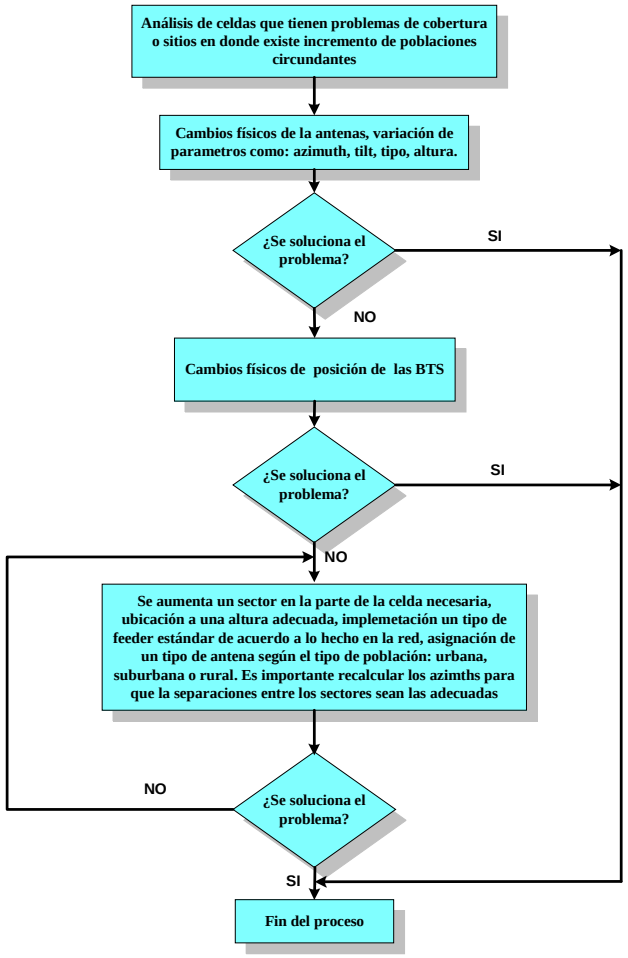
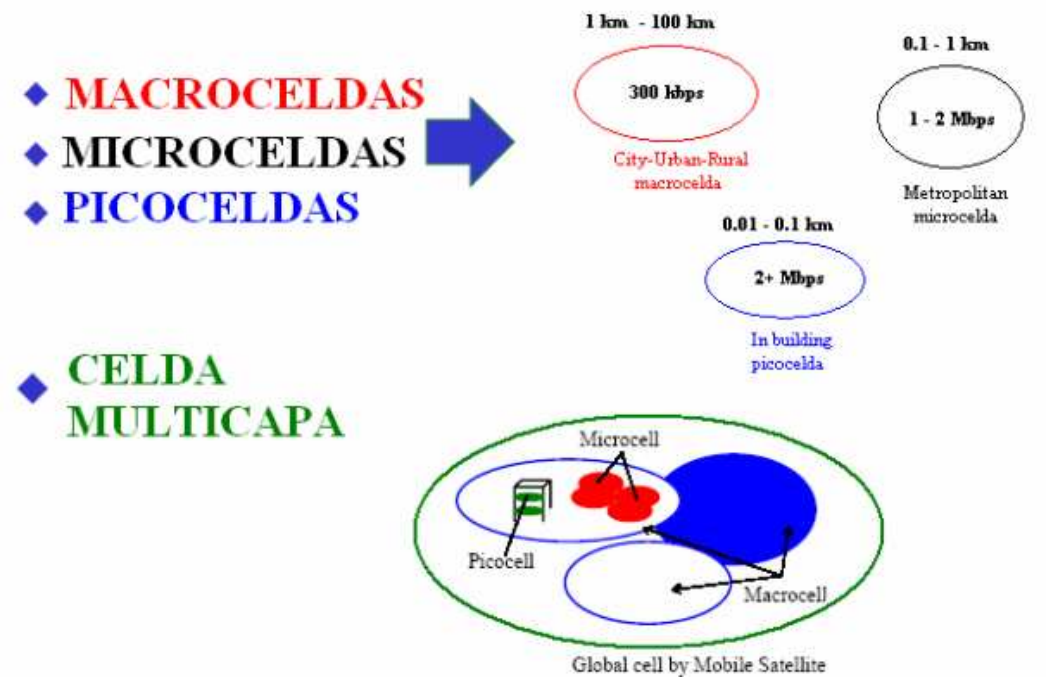


Figura 3.5 Flujograma para Optimizar cobertura mediante Sectorización

3.2 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE MICROCELDAS Y PICOCELDAS

Las micro y picoceldas se han creado para dar cobertura en ambientes *indoor*, edificios densos de usuarios o sitios inaccesibles en cuanto a alturas y cercanías en sitios de macroceldas; trabajan en la misma banda pero sus tamaños son de alcance más pequeño que la macrocelda.

Una microcelda cubre por ejemplo un centro comercial, conjunto habitacional, coliseo, estadio, 1 a 2 edificios. Una picocelda cubre ambientes internos como por ejemplo oficinas, pisos de edificios, más para ambientes personalizados o empresariales.



Fuente: Grupo de Comunicaciones Radio, 3.3 Tipos de Células

Figura 3.6 Tipos de celdas

3.2.1 MICROCELDAS

El uso de microceldas (con rango de cobertura entre 100 y 1000 metros) incrementa la capacidad de la red, ya que permite hacer un mayor manejo de tráfico y hace posible la utilización de potencias de transmisión muy bajas. Desde el punto de vista del operador, esto se traduce en ventajas adicionales como una

mejor cobertura, bajos costos de la red por suscriptor y mayor eficiencia en la operación del sistema. Los requerimientos claves del sistema microcelular incluyen la coexistencia e interoperabilidad con los sistemas ya instalados, necesitándose un desarrollo mínimo de ingeniería para su diseño.

Las Microceldas están servidas por estaciones base de escasa altura, poseen radios inferiores a 1 km, sus potencias típicas son entre 10 y 100mW, usualmente son usadas en sistemas que tienen línea de vista (LOS) y sus coberturas no suelen ser circulares.

El uso de microceldas optimiza el uso de las celdas y las macroceldas, permitiendo así el aprovechamiento y el mejor uso del espectro. Las microceldas son muy empleadas, ya que pueden acomodar muchos sucriptores por unidad de área de servicio, en comparación con las macroceldas. Además permiten el acceso con equipos de baja potencia. La propagación de las microceldas difiere de la de las macroceldas, porque se utiliza antenas con alturas menores, lo que ocasiona que se generen características de propagación mas suaves.

Las microceldas a ser implementadas van a ser de dos o tres sectores con tamaños de apertura de 180º o 120º y serán implementados con equipos Micro BTS. Se puede citar un ejemplo claro cuando un centro comercial no logra tener suficiente penetración o cobertura en sus interiores con las BTS Macro externas, entonces en este caso se implementa una microcelda en los interiores del centro comercial. Para el caso de empresas privadas, fabricas o al realizarse un evento como por ejemplo la Feria de Durán, lo que se hace es poner una estación móvil con equipo de celda Micro con uno o dos sectores para cubrir la demanda principalmente en el lugar del evento, pero si se requiere para una empresa privada la estación es fija.

La optimización de cobertura mediante microceldas básicamente se la realiza cuando se tiene las siguientes circunstancias:

- Cuando exista aumento de tráfico en áreas urbanas o densa urbanas.

- Cuando exista necesidad de cobertura a nivel *indoor* (ambiente interno) debido a que las macro externas no logran su objetivo de cobertura.
- Cuando se necesite cubrir una zona de cobertura temporal debido a festividades, eventos, reuniones, etc.
- Cuando se requiera cubrimiento *indoor* y *outdoor* (ambiente externo) de una empresa o localidad mediana en tamaño.

3.2.2 PICOCELDAS

Las picoceldas se logran al reducir mucho más el tamaño de las celdas (cobertura menor a 100 metros). Como se sabe, una reducción en el tamaño de una celda implica un aumento en su capacidad (manejo de tráfico), por lo que las picoceldas se utilizan para brindar cobertura en las zonas identificadas como de muy alto tráfico, tales como centros de negocios o centros comerciales, donde los usuarios tienen un patrón de comportamiento de baja movilidad y se encuentran en un ambiente cerrado.

Las picoceldas tienen radios inferiores a los 100 m y potencias menores a 100mW para coberturas de zonas interiores muy concretas.

La optimización de cobertura mediante picoceldas básicamente se implementa cuando se tiene las siguientes circunstancias:

- Cuando se tenga aumento de tráfico en una zona densa urbana, principalmente en pisos de edificaciones o para un lugar concentrado de tráfico.
- Cuando el ambiente micro o macro no logra cubrir el objetivo de cobertura *indoor*, entonces se implementa equipos Pico BTS con picoceldas de manera similar a la microcelda.

La figura 3.7, muestra los pasos a seguir para la optimización de cobertura mediante microceldas y picoceldas.

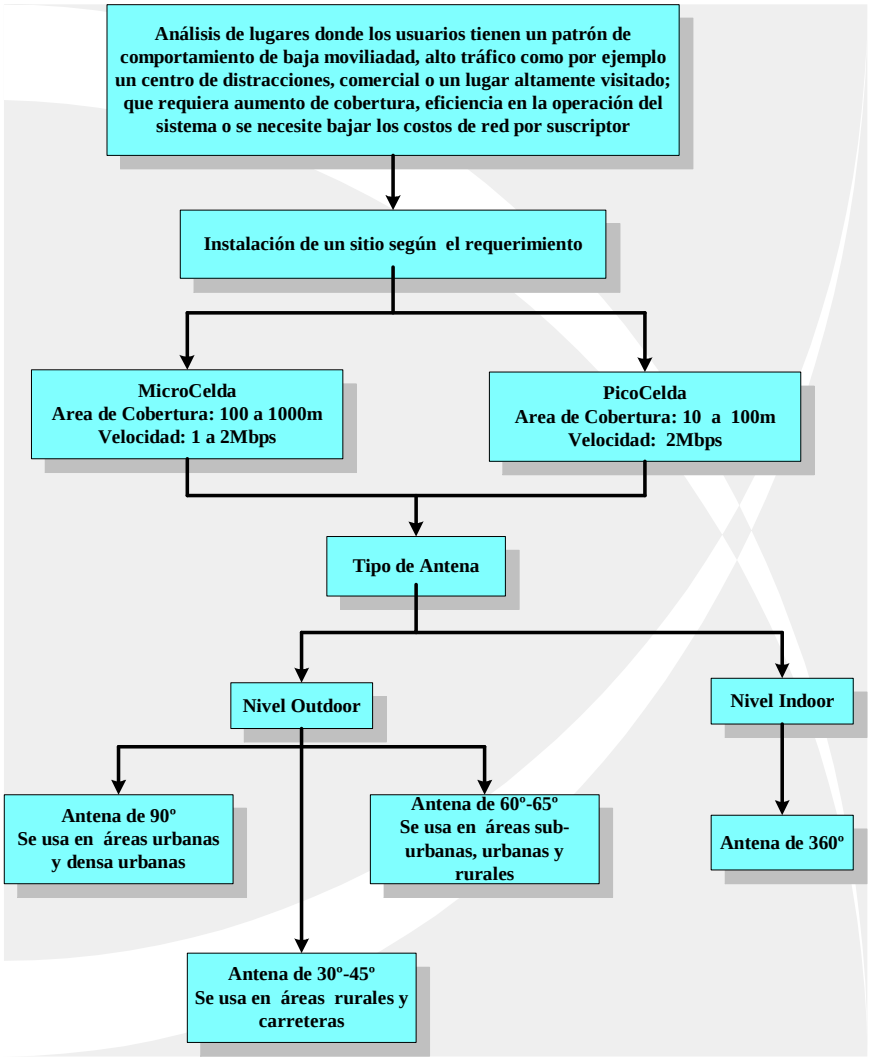


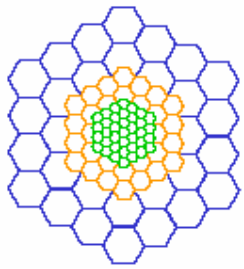
Figura 3.7 Flujograma para optimización de cobertura mediante micro y picoceldas

3.3 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE DIVISIÓN DE CELDAS (*CELL SPLITTING*)

El propósito de dividir una celda es satisfacer la demanda cuando el tráfico de llamadas en un área aumenta. La división debe ser de tal modo que se pueda reusar la frecuencia más a menudo, esto quiere decir que exista menor distancia entre celdas co-canal. Cuando se reduce el radio de la celda a la mitad, la vieja celda se divide en cuatro nuevas celdas pequeñas, entonces la capacidad de tráfico se incrementa en cuatro veces

La división de celda tiene las siguientes características principales:

- Permite adaptar la capacidad de las celdas al tráfico que tienen.
- Consiste en dividir una celda en microceldas.
- Se usa en ciudades y zonas muy congestionadas.
- Al ser más pequeñas las celdas, se reduce la potencia.
- Al ser más pequeñas las celdas, hay más procesos de *handoff* (transferencia suave).
- Por lo general cuando se divide el radio de la celda en 2 se tiene que:
  - La superficie de la celda se divide en cuatro.
  - La capacidad del tráfico se incrementa en cuatro veces.
  - Se tiene mayor precisión en la BTS.
  - Se aumentan los costes.



Fuente: Radiación y Radiocomunicación, cáp. 9, Autor: Carlos Crespo Cadenas

Figura 3.8 División de celda

3.3.1 POTENCIA DE TRANSMISIÓN DESPUÉS DE LA DIVISIÓN DE CELDAS

A continuación se tiene la formula general para obtener la potencia de transmisión de la nueva celda, luego de n divisiones y cada vez el nuevo radio es la mitad del anterior.

$$R_n = \frac{R_0}{2^n} \qquad \text{[Ecuación 3.1]}$$

$$P_{tn} = P_{t0} - n \cdot 12dB \qquad \text{[Ecuación 3.2]}$$

Donde:

R_n = Radio de la Celda n

R_0 = Radio de la antigua celda

P_{tn} = Potencia de transmisión de la celda n

P_{t0} = Potencia de transmisión de la antigua celda

n = Número de divisiones

El factor de reducción de interferencia co-canal siempre se mantendrá constante, después de cada división de celda. Se puede incrementar la carga de tráfico en cuatro veces en la misma área luego de que la celda original se divide en cuatro subceldas. Cada subcelda puede ser dividida nuevamente en cuatro subceldas, lo cual permite un incremento del tráfico en 16 veces. Así se puede ir dividiendo sucesivamente, se tiene la siguiente fórmula para calcular la capacidad de tráfico luego de n divisiones:

Nueva Capacidad de Tráfico = $(4)^n$ x (Capacidad de tráfico de la celda original), donde n es el número de veces en que se divide la celda.

Cuando se realiza la división de celdas se puede manejar un mayor volumen de tráfico, pero esto significa que el costo económico aumenta porque se requiere de la instalación de nuevas estaciones base y además al disminuir el tamaño de las celdas se incrementa la cantidad de *handoffs*.

3.3.2. TÉCNICAS PARA LA DIVISIÓN DE CELDA

Existen dos técnicas de división de celdas, las mismas que se describen a continuación:

3.3.2.1 División permanente (*Permanent Spliting*)

Se implementa éste tipo de división cuando en una zona determinada el promedio de tráfico aumenta y las estaciones base existentes no lo pueden manejar. En este caso se tiene la división por un tiempo prolongado, por lo que se debe seleccionar sitios adecuados para colocar estaciones bases de pequeñas celdas. Para que no se dificulte la división esta debe ser realizada durante un periodo de bajo tráfico. La antena puede ser instalada en un monopolo o en áreas tales como terrazas de edificios o interior de centros comerciales, aeropuertos, etc.

3.3.2.2 División en tiempo real (*Real-time Spliting Dynamic*)

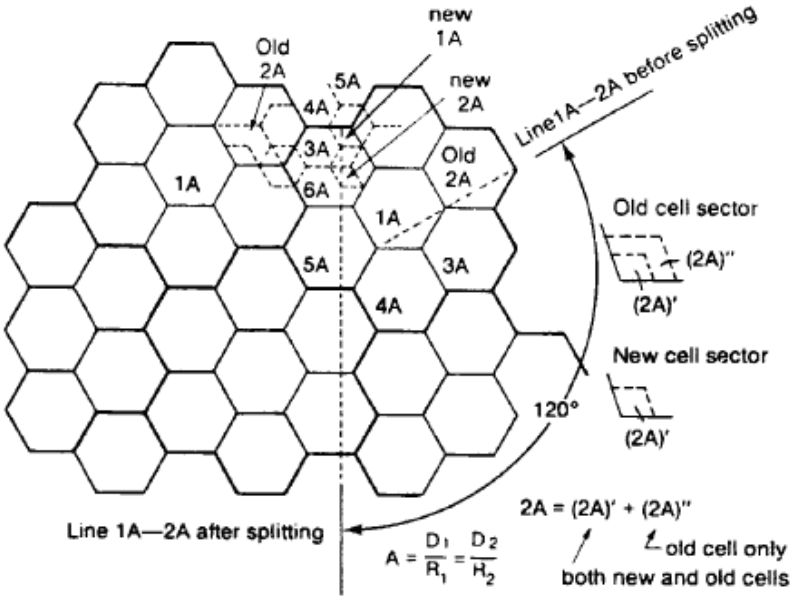
Este tipo de división no es por tiempo prolongado y se la implementa cuando existen picos de tráfico que no pueden ser manejados por las radio bases existentes, se la realiza por ejemplo, el los alrededores de un estadio o coliseo luego de un partido de fútbol o un concierto, en las autopistas en situación de accidentes automovilísticos, etc. En éste caso las pequeñas celdas tienen que administrar recursos operativos para incrementar la capacidad de tráfico del sistema. La planificación y la ubicación de las nuevas estaciones base no es tan exigente como en el caso de división permanente, ya que la participación de estas estaciones es por períodos cortos.

El proceso de división de celdas debe ser gradual sobre el sistema de forma que se pueda predecir la caída de llamadas.

Al suponer que el área entre dos viejas celdas 2A requiere un incremento en la capacidad de tráfico como se ve en la figura 3.9. Entonces se toma el punto medio entre dos celdas antiguas (1A y 2A), para obtener la línea 1A-2A antes de la división, al rotar esta línea 120º en sentido horario se obtiene la línea 1A-2A después de la división, esto nos sirve para encontrar la nueva celda 1A, con lo que la orientación del nuevo “cluster” de 7 celdas queda determinado. Se debe separar los canales asignados en la antigua celda en dos grupos con el propósito de mantener en servicio las llamadas que se encuentran cursando mientras se hace la división de celdas, de la siguiente forma:

$$2A = (2A)' + (2A)'' \qquad \text{[Ecuación 3.3]}$$

De donde la frecuencia de los canales usados en la nueva celda y en la antigua está representada por (2A)’, pero en los sectores pequeños y la frecuencia de los canales usados solo en la antigua celda esta representado por (2A)’’. Los canales serán transferidos gradualmente de (2A)’’ a (2A)’. El proceso concluye cuando todos los canales son transferidos a (2A)’’.



Fuente:
http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Tecnologias%20de%20banda%20angosta/introduccion%20telefon%EDa%20celular%202003.pdf

Figura 3.9 Técnicas de *Cell-Splitting*

3.4 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE ANÁLISIS DE INTERFERENCIA

Se tiene una adecuada Optimización de Cobertura mediante Análisis de Interferencia cuando mediante el *drive test*, el análisis estadístico o el desempeño se pueda verificar, identificar y solucionar problemas de interferencias co-canal o de canal adyacente.

Utilizando una prueba de campo o de *drive test* y al analizarlo con herramientas de post-procesamiento, se debe verificar que la relación C/I sea mayor o igual a 20 dB en áreas urbanas, mayor o igual a 15 dB en áreas suburbanas y mayor a 10 dB en sitios rurales y carreteras.

Se tienen como indicadores de interferencia los siguientes puntos:

- Cuando hay la presencia de los mismos canales BCCH o TCH pero con diferentes BSICs (*Base Station Identity Code*).

- Cuando la señal de recepción en sitios cercanos a la radio base servidora es bastante baja.
- Cuando se tiene la presencia de un FER (*Frame Error Rate*) alto, Un RXQUAL (Calidad de Recepción) alto, inminentes caídas de llamadas, accesos y *handover* fallidos que conllevan a caídas de llamadas.

Mediante el análisis estadístico, se ve el sitio y sus principales indicadores de calidad tales como FER, RXLEV (Nivel de Recepción), HOSUCCRATE (Tasa de *handover* exitosos), CALLDROPRATE (Tasa de Llamadas Caídas), HODROPRATE (Tasa de *handovers* Caídos), TCHDROPRATE (Tasa de Canales TCH caídos), entre otros en los peores días de trafico o en los días que se han presentado las peores estadísticas, después se lo hace tomando en cuenta el historial del sitio por meses y por año; así en complementación con las pruebas de *drive test*, se puede concluir e identificar una interferencia co-canal o adyacente, ya sea *intra-cell*, *inter-cell*, *inter-bsc*, etc.

3.4.1 ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LAS INTERFERENCIAS

El concepto celular está intrínsecamente asociado a la capacidad que tienen las celdas de cambiar su tamaño dentro de la estructura que conforman en el área de servicio. Esta variación de tamaño está relacionada con la necesidad de conformar zonas cubiertas por estaciones base cada vez menores que apliquen sus canales (capacidad de cursar tráfico) sobre áreas cada vez menores, para que de este modo la densidad de tráfico que puede ser cursada aumente.

La progresiva disminución del tamaño de las celdas tiene como consecuencia que los elementos radiantes, susceptibles a provocar interferencias entre sí, están relacionados cada vez más los unos a los otros. Es preciso, por lo tanto, determinar las relaciones geométricas que intervienen en esta situación tan habitual.

Para el cálculo de interferencia entre celdas co-canal se habla del concepto de coronas, en concreto:

- Primera corona, formada por las seis celdas co-canales a distancia D de una dada.
- Segunda corona, formada por las 12 celdas co-canales, 6 a distancia 2D y otras 6 a distancia D.

Los cálculos de interferencias entre celdas deben considerar el hecho de que, en principio, las celdas más alejadas son las menos interferentes. Por ello, en los primeros cálculos de interferencias, se considera la primera corona. Para la obtención de las potencias con que estas celdas hacen su aporte a la potencia total, se necesita conocer la distancia de la misma al punto o puntos en que se evalúa la interferencia con respecto a la señal deseada. Para determinar las coordenadas de los puntos de la primera corona basta determinar los tres vértices del rombo co-canal A (i, j), B (k, l), C (m, n), por simetría obtendremos los otros tres vértices A' (-i, -j), B' (-k, -l), C' (-m, -n).

3.4.2 CÁLCULO DE INTERFERENCIAS EN LOS SISTEMAS CELULARES

El análisis de las interferencias en el sistema celular es una tarea clave para realizar la planificación frecuencial, en tanto que la interferencia se relaciona directamente con la asignación de frecuencias. El análisis de las interferencias se basa en la obtención de la relación (C/I). Es decir, la relación de señal deseada frente a interferente, en cada punto de la zona de servicio, este valor de relación (C/I) debe ser superior a un cierto umbral que depende de las características del sistema, fundamentalmente de la modulación y determinará el patrón celular que se debe desplegar en la red para un rendimiento óptimo de la misma. Para el estudio de la mencionada relación, se deben obtener los valores de señales deseada e interferente. La primera suele tener un valor bastante sencillo de calcular en tanto que no involucra ninguna sumatoria de señales, que es lo que ocurre en la obtención de la señal interferente total. Para resolver este inconveniente, el análisis se basa en la hipótesis de la in-correlación de las señales interferentes, por considerar que sus caminos de propagación son muy diferentes. Esto conduce a que la potencia total de las señales interferentes sea la suma de todas ellas en unidades normales (w). De este modo, el análisis que

se realiza es uno de peor caso, de tal modo que se asegura el funcionamiento del sistema en todo momento.

Se habla de dos situaciones diferentes en el estudio de las interferencias:

- Interferencia en el enlace ascendente, con las señales recibidas desde varias estaciones móviles hacia una estación base.
- Interferencia en el enlace descendente, con las señales emitidas desde varias estaciones base hacia una estación móvil. Será este caso sobre el que se centrará el siguiente análisis.

Es conveniente resaltar también un hecho importante, que es que la interferencia únicamente se produce cuando las estaciones base están activas, es decir, que si no están transmitiendo potencia en un momento dado, no se les debería considerar en el total de la interferencia evaluada. El estudio que se hace, por tanto, sigue siendo de peor caso. En cualquier caso, independientemente de dónde se evalúe la (C/I), existen dos métodos para calcularla:

- Métodos determinísticos, que toman en cuenta las variaciones reales e instantáneas de las señales que se consideran.
- Métodos estadísticos, que consideran la distribución estadística de las señales consideradas, tomando generalmente la variación log-normal como referencia de cálculo.

En la evaluación de la relación (C/I) se debe considerar dos aspectos que conducirán a la determinación de los parámetros del sistema:

- Condición geométrica, que establece las distancias y tamaños posibles de las agrupaciones.
- Condición radioeléctrica, que establece que la relación (C/I) debe ser superior a un umbral suficiente.

3.5 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE ANTENAS INTELIGENTES

Una Antena Inteligente esta compuesta por un arreglo de antenas y una unidad de DSP (Procesamiento Digital de Señales), con lo que se optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno.

La característica principal de las Antenas Inteligentes es que tienen un haz reconfigurable electrónico-mecánico, el que tiene una determinación de apuntamiento con relación de la posición y orientación de los extremos de los enlace radio.

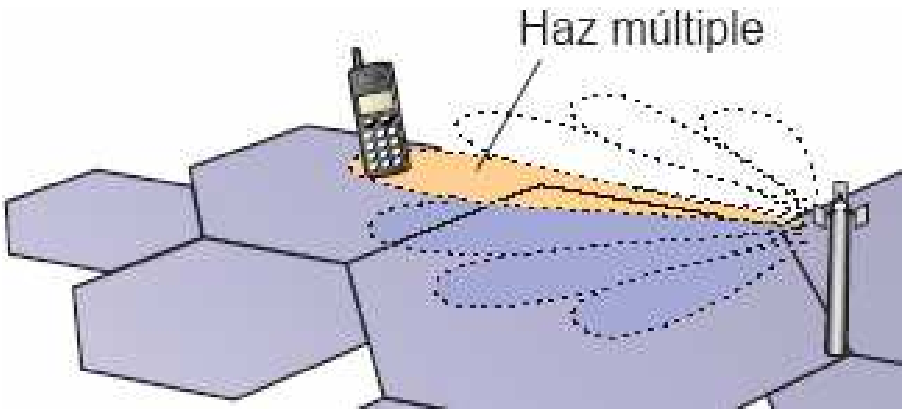
La antena inteligente se diferencia de la antena normal porque la inteligente limita la energía radiada en haces estrechos, en cambio la normal radia la energía por toda la celda. La utilización de este tipo de antenas tiene ventajas como:

- Aumentar la capacidad de conexión a múltiples usuarios simultáneamente.
- Incrementar la capacidad y la confiabilidad.
- Reducir la potencia de transmisión.
- Reducir la propagación multitrayecto.
- Reducir el nivel de interferencia.
- Incrementar el nivel de segurida.

La desventaja principal del uso de antenas inteligentes es la necesidad de localizar continuamente la posición angular de los terminales móviles en la celda.

Se tiene tres tipos de Antenas Inteligentes:

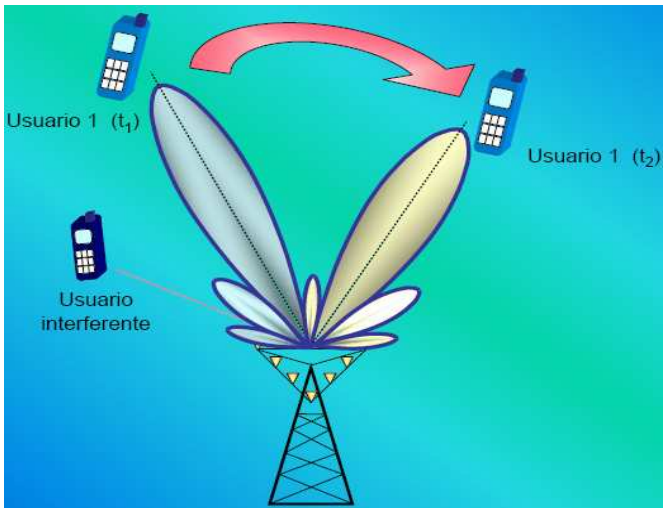
- **Haz Conmutado:** Genera varios haces a ángulos prefijados, los que realizan una conmutación secuencial, con el objetivo de conseguir un barrido discreto de la zona de cobertura en posiciones angulares fijas. La inteligencia del sistema se encarga de seleccionar el haz que mejor servicio da a cada usuario en particular, en función de algún parámetro de control (mayor nivel de potencia recibida, mayor relación señal a ruido y mejor relación portadora a interferencia C/I).



Fuente: www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/1999_03/files/es1999034.pdf

Figura 3.10 Sistema de haz conmutado

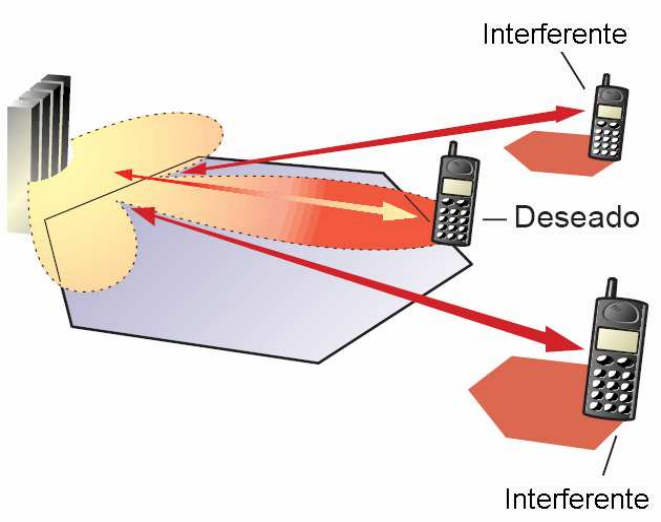
- **Haz de Seguimiento:** Esta técnica requiere el uso de un arreglo de antenas progresivo, en el que se puedan controlar electrónicamente las fases con las que se alimentan los distintos elementos, de modo que puede modificarse a voluntad la dirección en la que apunta el lóbulo principal de la antena. Además, es necesario utilizar algún algoritmo de detección de la dirección de llegada (DoA), de modo que pueda reorientarse dinámicamente el haz para apuntar al usuario deseado. Esta técnica garantiza que el usuario se encuentra iluminado en todo momento por el lóbulo principal y con máxima ganancia (dependiendo del algoritmo que se utilice).



Fuente: http://ieee.udistrital.edu.co/communications/Exposiciones/ANTENAS%20INTELIGENTES.pdf

Figura 3.11 Sistema de haz de seguimiento

- **Haz Adaptivo:** En este sistema, las salidas de cada elemento del arreglo de antenas se pondera con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente para conformar un diagrama de radiación que presente el haz principal hacia la posición del usuario deseado y los haces o lóbulos secundarios hacia las direcciones de las componentes de multitrayecto de la señal deseada y mínimos o nulos de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.



Fuente: www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/1999_03/files/es1999034.pdf

Figura 3.12 Sistema de haz adaptivo

3.5.1 OPTIMIZACIÓN

Con el uso de Antenas Inteligentes, se consigue optimizar lo siguiente:

3.5.1.1 Incremento del Alcance

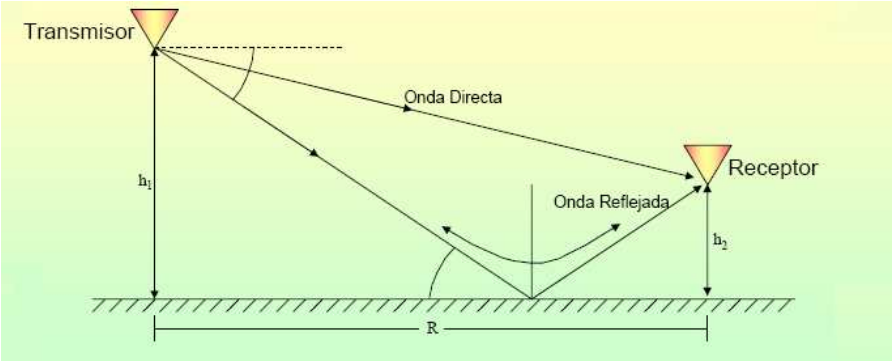
La ganancia en un arreglo de antenas es mayor que la ganancia de una antena omnidireccional o sectorizada, por esta razón a una misma potencia se puede recibir la señal a una distancia mayor. Esto permite reducir el número de estaciones base para cubrir una zona específica, siempre y cuando no sea el tráfico el factor limitante.

3.5.1.2 Reducción de Potencia de Transmisión

Al implementar un arreglo de antenas se obtiene una mayor ganancia lo que incrementa la sensibilidad de la estación base, entonces los equipos móviles pueden transmitir a menor potencia, como resultado se tiene un ahorro de baterías. Además, se reduce los costos en las etapas de amplificación, porque las antenas inteligentes pueden radiar una potencia menor, con lo que se puede reducir o simplificar las especificaciones de los amplificadores de potencia asociados al sistema de antenas.

3.5.1.3 Reducción de Propagación Multitrayecto

Se tiene una reducción significativa de los trayectos múltiples de la información que llegaría al equipo móvil, puesto que es menor la dispersión angular de la radiación desde el sistema de antenas inteligentes. Lo que permite que el sistema de ecualización del terminal móvil sea más simple.



Fuente: http://ieee.udistrital.edu.co/communications/Exposiciones/ANTENAS%20INTELIGENTES.pdf

Figura 3.13 Reducción de Propagación Multitrayecto.

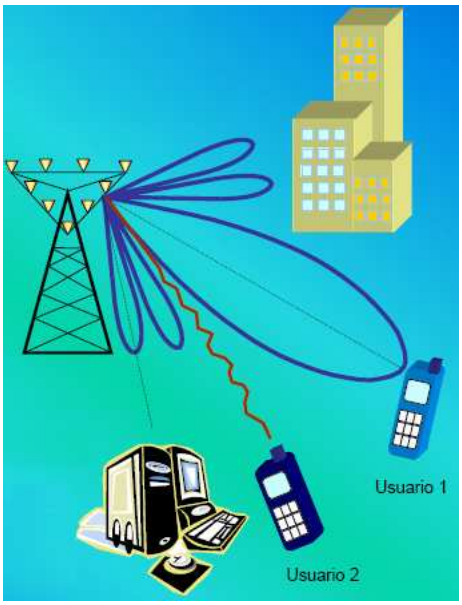
Cuando se capta la onda principal de la señal de interés, se puede tener dos situaciones:

- Se puede eliminar las señales de multitrayecto propias y las señales interferentes de otros usuarios.

- Se puede aprovechar la captación de sus señales multitrayecto, para reforzar la señal principal y eliminar las señales interferentes de otros usuarios.

3.5.1.4 Reducción del Nivel de Interferencia

Las antenas inteligentes radian su energía en haces estrechos, a diferencia de las antenas normales que radian su energía en toda la celda, esto permite discernir las señales interferentes provenientes de otros usuarios, con lo que se logra hacer insensible a la antena receptora hacia esas direcciones y evitar que esas señales sean procesadas en el sistema de recepción. La reducción del nivel de interferencia permite aumentar la calidad de la transmisión de la información, porque reduce el BER (tasa de error).



Fuente: http://ieee.udistrital.edu.co/communications/Exposiciones/ANTENAS%20INTELIGENTES.pdf

Figura 3.14 Reducción del Nivel de Interferencia

3.5.1.5 Incremento del Nivel de Seguridad

La transmisión entre la estación y el equipo móvil es direccional, por lo que es muy complicado que otro equipo intercepte la comunicación, a menos que esté situado en la misma dirección en que apunta el haz de la antena. Además, se

facilita el proceso de localización de usuarios que están haciendo uso fraudulento de los servicios que ofrece la red de comunicación móvil.

Fuente: http://ieee.udistrital.edu.co/communications/Exposiciones/ANTENAS%20INTELIGENTES.pdf

Figura 3.15 Incremento del Nivel de Seguridad

3.6 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS

Otra forma de optimizar la cobertura en redes celulares GSM es el uso de algoritmos. Entre los Algoritmos que han sido desarrollados últimamente, los más importantes son:

- Algoritmo *ANTS*.
- Algoritmo 9999

3.6.1 ALGORITMO DE ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS *ANTS*

3.6.1.1 Representación de una red celular de Telefonía Móvil

Una red celular puede ser representada mediante un grafo (conjunto de nodos unidos entre sí por aristas) simple con peso en las aristas, donde los vértices se corresponden con las frecuencias que deben asignarse a cada celda y las aristas unen vértices correspondientes a celdas interferentes. El peso de una arista representa la distancia que deben tener las frecuencias asignadas a cada una de las celdas con el propósito de no sufrir interferencias. Entonces el problema así planteado puede considerarse como un problema de coloreado de grafos, donde

las frecuencias se representan con colores o números enteros, de manera que la separación entre colores de vértices adyacentes ha de ser como mínimo el peso de la arista que los une.

3.6.1.2 Especificaciones para la Asignación de Frecuencias

El problema de asignación de frecuencias puede caracterizarse mediante una matriz de restricciones y un vector de requerimientos.

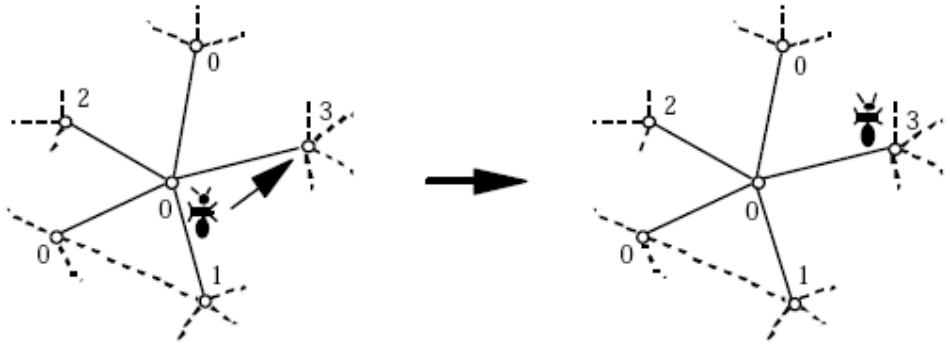
La **matriz de restricciones** es una matriz cuadrada de n filas y n columnas (n es el número de celdas de la red), donde cada elemento indica la separación que debe existir entre las frecuencias asignadas a la celda fila y la celda columna correspondientes. Un 0 significa que las dos celdas no interfieren y que, por lo tanto, pueden utilizar la misma frecuencia. Un 1 significa que existen interferencias co-canal y que por lo tanto las frecuencias entre las celdas han de situarse, cuando menos, a una distancia igual a 1. Finalmente un valor igual a 2 indica la presencia de interferencias de canal adyacente (los lóbulos laterales interfieren la señal principal) de tal modo que la separación frecuencial ha de ser como mínimo de dos unidades.

El **vector de requerimientos** indica el número de frecuencias necesarias en cada celda. Esta magnitud depende del índice de población y penetración del servicio, cuota del operador, tráfico medio generado por el usuario en la hora cargada y porcentaje de bloqueo de la red.

3.6.1.3 Proceso del Algoritmo *ANTS*

El algoritmo *ANTS* consta de una serie de agentes (hormigas) que se desplazan a lo largo del grafo en paralelo (de forma simultánea), actuando cada una de las hormigas de forma restringida conforme a un criterio de optimización local. En una iteración dada, cada hormiga se desplaza del vértice actual hasta el vértice adyacente con peor función de coste (esto es, al vértice con mayor nivel de interferencias) y cambia su frecuencia por otra (escogida de entre las frecuencias

disponibles por el operador) con el fin de minimizar la interferencia con las celdas adyacentes.



Fuente: http://www-ma4.upc.edu/~comellas/telecomid/338-paper.pdf

Figura 3.16 Movimiento de una hormiga hacia el peor nodo (los números indican el número de restricciones que incumple cada nodo).

Inicialmente el grafo se colorea (se asignan frecuencias a los distintos vértices) de forma aleatoria, distribuyéndose así mismo sobre los vértices un número determinado de agentes. Cada vértice representa una frecuencia *hopping* asignada a la celda correspondiente. Luego las hormigas se desplazan a lo largo de la red y cambian las frecuencias de los distintos vértices dentro de un margen determinado y de acuerdo con un criterio de optimización local.

En lo referente al funcionamiento de los agentes del algoritmo, se debe tomar en cuenta que: las hormigas han de actuar de forma restringida modificando parámetros locales del coloreado del grafo; estas acciones aunque realizadas para obtener una mejora de la solución final, pueden introducir empeoramientos con una cierta probabilidad (con el objeto de no caer en extremos locales); y que las diferentes hormigas actúan con independencia las unas de las otras, afectándose únicamente a través de las modificaciones producidas sobre el coloreado del grafo.

En cada iteración cada una de las hormigas repite el mismo proceso de forma probabilística. De este modo, el agente u hormiga se desplaza al peor nodo adyacente con una determinada probabilidad *pn* (en otro caso puede desplazarse a cualquier otro nodo adyacente de forma equiprobable) y le asigna el mejor color

con probabilidad *pc* (en otro caso puede asignarle cualquier color al azar; ambas probabilidades son parámetros ajustables). Este carácter probabilístico permite al algoritmo escapar de mínimos locales y obtener cotas próximas al mínimo absoluto. El proceso se itera hasta que se obtiene la solución óptima o el algoritmo converge.

A continuación se tiene la estructura básica del algoritmo *ANTS*:

Inicio

Colorea aleatoriamente el grafo

Distribuye aleatoriamente las hormigas

Escoge hormiga al azar

si probabilidad *pn* mueve al peor vértice adyacente

si no mueve a otro vértice adyacente

si probabilidad *pc* asigna mejor frecuencia

si no asigna cualquier frecuencia

actualiza función de coste

si nueva solución menor que mejor solución

guarda nueva solución como mejor solución

fin escoge

hasta máximo número de iteraciones

o solución encontrada

El funcionamiento del algoritmo *ANTS* depende fundamentalmente de tres parámetros: el número de hormigas, la probabilidad *pn* de desplazamiento al peor vértice y la probabilidad *pc* de asignar la mejor frecuencia. Si se utiliza un número reducido de hormigas puede necesitarse un mayor número de iteraciones para colorear el grafo, mientras que un número excesivo puede provocar colisiones entre las distintas hormigas.

3.6.1.4 Aplicaciones de *ANTS*

El algoritmo se ha utilizado con éxito en la asignación de frecuencias implementado en la aplicación *ANTX* que ha sido probada en diversas redes GSM (definidas a partir de casos prácticos) logrando, en tiempos de ejecución

razonables, soluciones próximas a las cotas inferiores y siempre por debajo de las cotas superiores proporcionadas por los métodos de asignación secuencial.

Dada la sencillez de su descripción, la adaptación del algoritmo *ANTS* a otros tipos de problemas combinatorios no presenta grandes dificultades. En el caso de la asignación de frecuencias pueden, por ejemplo, tomarse en consideración algunos parámetros tecnológicos así como las propiedades físicas de la red.

De otra parte, a la hora de describir la red celular de un área determinada, podrían tomarse en cuenta aspectos que, por simplicidad, no suelen considerarse. Así, en vez de tratar el problema desde el punto de vista de un grafo, se podría trabajar con dígrafos que modela mejor las redes reales, donde las interferencias no son simétricas. Podría considerarse, también, la no uniformidad de la interferencia en el espacio de cobertura, así como la localización de las interferencias débiles en celdas con una densidad de tráfico baja o con una baja estadística de *handovers*.

3.6.2 ALGORITMO 9999

El algoritmo 9999, se utiliza para calcular la pérdida de ondas electromagnéticas ente dos coordenadas, este algoritmo es útil para la optimización de cobertura porque a saber las pérdidas que se tiene entre dos coordenadas se pueden tomar medidas como aumento de potencia de transmisión, cambio de antenas normales con un sistema de antenas inteligentes, etc.

El algoritmo considera la topografía del terreno y las características del suelo (*clutter*) como por ejemplo, si se tiene bosques, áreas construidas o campos de uso agrícola. Se calcula la pérdida para una trayectoria entre la antena del transmisor y la antena del receptor.

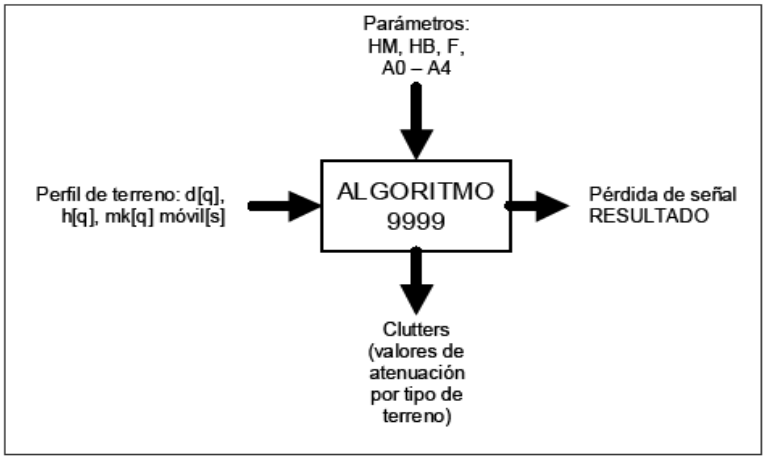
Por medio de la digitalización del las curvas de nivel del terreno, se ingresan las variaciones de elevación y uso de la tierra (construcciones, bosques, etc). Las características del terreno son individualizadas a través de *clutters* en los que se especifica la pérdida característica por tipo de terreno. Se debe tomar en cuenta

que las pérdidas de señal de ondas radio también, depende de las frecuencias y las alturas del transmisor y receptor. La altura de la antena del receptor tiene que estar entre 1 a 5 metros a nivel del suelo.

El rango de frecuencia para que éste algoritmo sea aplicable es: desde 150 MHz a 2GHz, usando los parámetros de predicción adecuados y los valores de *clutter* adaptados al terreno sobre el que se aplica el modelo.

- **INFORMACIÓN DE ENTRADA REQUERIDA POR EL MODELO**

La información de entrada que requiere el algoritmo es: perfil del terreno (se obtiene de la base cartográfica digitalizada), parámetros específicos (los que se adaptan a la banda de frecuencia a considerar), constantes y *clutters* de uso de terreno.
Se ingresa la información de entrada requerida según el siguiente diarama:

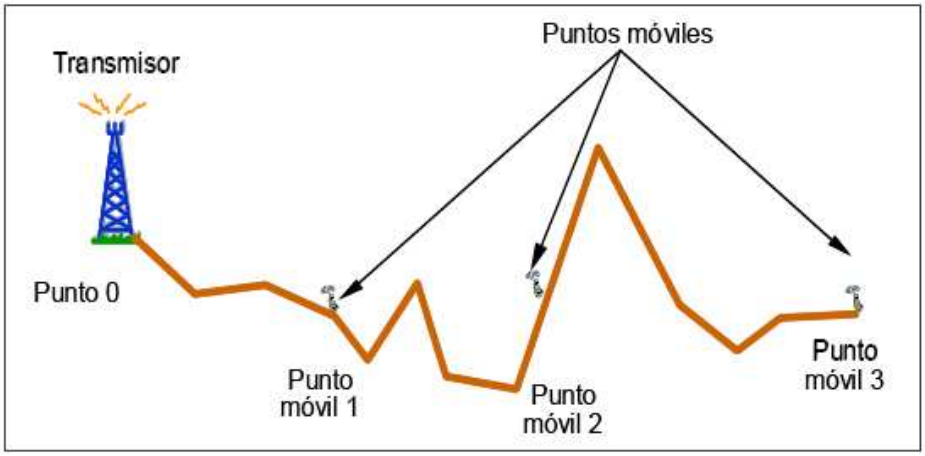


Fuente: http://procesostarifarios.subtel.cl/downloads/TELMOVIL/3-6-1a_Anexo_Pub_Mem_ProyTec.pdf

Figura 3.17 Información de entrada requerida por el Algoritmo 9999

- **Perfil de Terreno**

El perfil de terreno describe la topografía a lo largo de una línea recta entre la posición del transmisor y la del móvil como se puede ver en figura 3.18. El perfil de terreno está definido como un vector formado por puntos topográficos.



Fuente: http://procesostarifarios.subtel.cl/downloads/TELMOVIL/3-6-1a_Anexo_Pub_Mem_ProyTec.pdf

Figura 3.18 Perfil de Terreno

Cada punto topográfico tiene valores correspondientes a las siguientes variables: "Este vector (H) contiene la elevación de terreno sobre el nivel del mar en cada punto, pudiendo ser un entero positivo o negativo. El vector Mk contiene el código de *clutter* correspondiente, el que consiste en un número entero que simboliza los diversos tipos de terreno definidos."[9]

Elevación de terreno	H	[m]
Distancia	D	[m]
Código de uso de tierra	Mk	

Tabla 3.1 Nomenclatura de los vectores

Los puntos móviles (puntos topográficos pertenecientes al perfil de terreno) a lo largo de los perfiles de terreno pueden considerarse como un vector móvil. El valor en el vector móvil es el índice del punto topográfico en el perfil de terreno en el cual se hace el cálculo, tal como se puede apreciar en la figura siguiente.

[9] Fuente: http://procesostarifarios.subtel.cl/downloads/TELMOVIL/3-6-1a_Anexo_Pub_Mem_ProyTec.pdf

- **Parámetros del Modelo**

El modelo requiere de ciertos parámetros para su algoritmo, para realizar los cálculos de cobertura. Estos parámetros varían según el tipo de banda en la que se desea trabajar, estos pueden ser: la altura de la antena del transmisor (HB), la altura de la antena del receptor (HM) y la frecuencia del enlace. Los parámetros de predicción A0, A1, A2, A3 y A4 son valores adaptados experimentalmente y son obtenidos a partir de mediciones de terreno.

- ***CLUTTERS***

Las tablas de valores de *clutters* contienen valores de pérdida de difracción en dB, para cada tipo o código de terreno. Este valor debe corresponder a la pérdida de señal adicional, debida al terreno, la cual ocurre cuando el receptor está ubicado dentro de este tipo de terreno. La magnitud de estas pérdidas es además dependiente de la frecuencia, cada *clutter* tendrá valores distintos para cada banda de frecuencia. Además, se debe considerar que los valores de pérdida varían dependiendo del tiempo (estaciones del año). Por ejemplo, la pérdida por vegetación es más alta en verano cuando hay hojas en los árboles si se la compara con la del invierno.

- **Descripción de los bloques funcionales principales del algoritmo**

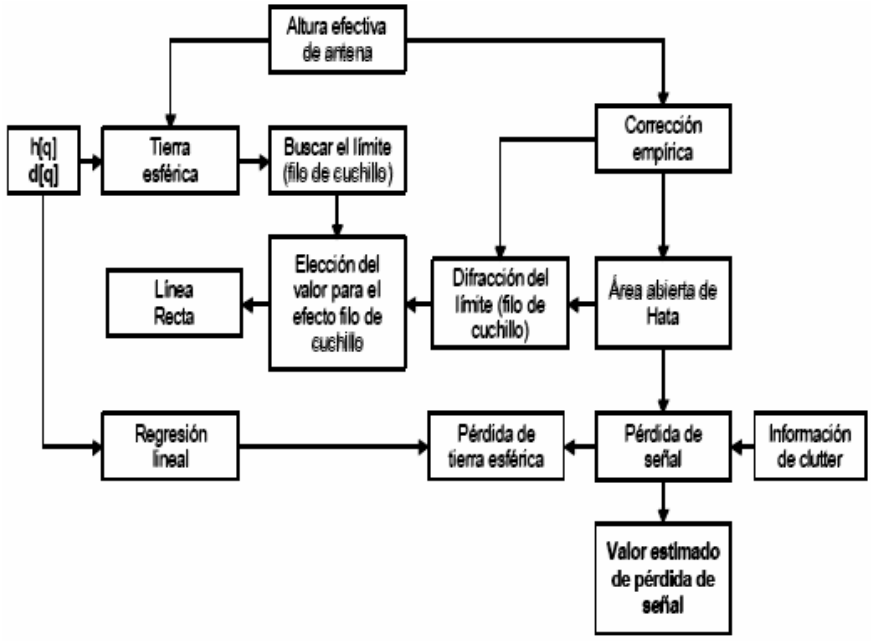
El algoritmo 9999 considera el efecto de las siguientes señales:

- Las ecuaciones de propagación de onda de *Okumura-Hata* con la modificación de los parámetros de predicción A0 – A4.
- Pérdida adicional que surge cuando la onda de propagación es perturbada como por ejemplo cumbres de montaña u otras obstrucciones graves. Para este caso, el modelo considera en su algoritmo el efecto denominado “filo de cuchillo” (se refiere a la difracción provocada en la trayectoria de la señal por la elevación más alta de la tierra a lo largo del perfil de terreno).
- Cuando la distancia entre el transmisor y el receptor llega a ser suficientemente larga, la curvatura de la tierra perturbará la propagación de

la onda. La pérdida adicional causada por esto se calcula usando el algoritmo de tierra esférica.

- Pérdida de señal debido a los valores de *clutter*.

Al Algoritmo 9999 se lo puede representar por el diagrama de bloques de la Figura 3.19., donde se identifican aquellos procesos más relevantes en orden de ejecución, para finalizar en el valor predictivo de cobertura.



Fuente: http://procesostarifarios.subtel.cl/downloads/TELMOVIL/3-6-1a_Anexo_Pub_Mem_ProyTec.pdf

Figura 3.19 Diagrama de bloques para el Algoritmo de cálculo 9999

3.7 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE MANIPULACIÓN DE ANTENAS

Se entiende por cambios de parámetros físicos, todos aquellos que son a nivel de hardware, como son: alteración del *tilt* de la antena, cambio de *azimuth* de la antena, variación de la altura de la antena, cambio del tipo de antena, adición o eliminación de transmisores, implementación de preamplificadores cercanos a la antena, implementación de repetidores, entre otros.

3.7.1 ALTERACIÓN DEL *TILT* DE LA ANTENA

Se modifica el *tilt* de Antena con el propósito de obtener los siguientes resultados:

- Reducir Interferencia
- Limitar la cobertura
- Mejorar la cobertura
- Mejorar la penetración en ambientes *indoor*

El cambio en el *tilt* de la antena, debe ser hecho muy cuidadosamente para conseguir mejorar la situación. Los *down tilts* típicos están entre 0º y 10º, pero también se han usado valores altos, como por ejemplo de 25º.

3.7.2 ALTERACIÓN DEL *AZIMUTH* DE LA ANTENA

Se modifica el *azimuth* de la antena para obtener los siguientes resultados:

- Para sobrelapar mejor la cobertura entre diferentes sectores.
- Para reducir interferencia en ciertas direcciones.

3.7.3 VARIACIÓN DE LA ALTURA DE LA ANTENA

Se aumenta o se disminuye la altura de la antena con el propósito de:

- Reducir o mejorar la cobertura.
- Reducir Interferencia.

3.7.4 CAMBIO DE TIPO DE ANTENA

Se realiza el cambio de tipo de antena para mejorar las características de radiación deseadas.

3.7.5 ADICIÓN O ELIMINACIÓN DE TRANSMISORES (TRX):

Para la adición o eliminación de transmisores, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Dependiendo de la situación real de la carga de tráfico cualquier transmisor puede ser removido o adicionado. Los transmisores que no sean necesarios pueden interferir en otras celdas.
- El número de transmisores necesarios y la configuración de los diferentes canales dependen del tráfico ofrecido y las necesidades del abonado.

3.7.6 IMPLEMENTACIÓN DE PREAMPLIFICADORES CERCANOS A LA ANTENA

Una de las razones para tener una calidad pobre es tener un enlace no balanceado, puesto que se tendrá incrementos de tasa de llamadas caídas y de *handover* fallidos. En caso de tener un enlace no balanceado, los rangos de cobertura *up link* y *down link*, difieren. A menudo el rango de *down link* es más alto que el rango de *up link*. Este problema puede ser resuelto usando preamplificadotes cercanos de la antena, los cuales mejoran el umbral y la figura de ruido de una BTS.

3.7.7 IMPLEMENTACIÓN DE REPETIDORES

Un repetidor es un amplificador RF bidireccional y es usado para mejorar huecos de cobertura en un área de servicio de la BTS. Se tiene como aplicación de la implementación de repetidores como por ejemplo la cobertura de zonas problemáticas tales como túneles, valles, construcciones, etc.

Un receptor de un repetidor, amplifica y retransmite la señal *down link* de una BTS donante dentro de un área de baja cobertura o sin cobertura y la señal *up link* de las estaciones móviles los cuales están ubicadas en su propia área. Los repetidores extienden pero no remplazan a las BTS.

A continuación se tiene una tabla en donde se puede ver los problemas mas frecuentes, que ameritan de cambios de parámetros físicos, para obtener una optimización adecuada.

PARÁMETRO A CAMBIAR	PROBLEMA ENCONTRADO	RECOMENDACIÓN
DOWNTILT ELÉCTRICO	Control de cobertura y de accesos lejanos, DROPCALLS, ACCESOS FALLIDOS	Ajuste positivo , negativo verificar downtilts anteriores
DOWNTILT ELÉCTRICO	Control de interferencia co-canal, DROPCALLS .ACCESOS FALLIDOS	Ajuste positivo , negativo verificar downtilts anteriores
DOWNTILT MECÁNICO	Control de cobertura	No es muy recomendable, se lo usa en caso de no poder cambiar el downtilt electrico
DOWNTILT ELÉCTRICO - MECÁNICO	Es de acuerdo a control de interferencia	Para compensación de cobertura
AZIMUTH	Control de área de cobertura correspondiente, DROPCALLS E INTERFERENCIA	Usado para que los handovers entre sectores de la celda se den favorablemente.
CREAR ADYACENCIAS O VECINDADES (*NEIGHBOURS*)	Control de Interferencias cocanal y accesos fallidos, handovers fallidos, DROPCALLS.	Usado para facilitar los Handovers exitosos y sostener las llamadas, debe ser lo mínimo posible para la optimización
CAMBIAR VALORES DE MÁRGENES DE *HANDOVER* (HOM)	Handovers fallidos , accesos fallidos POR CAUSA DE INTERFERENCIA.	Para demorar handovers, o acelerarlos, para evitar efectos pin-pong.En general se aumenta para evitar failed acces y se disminuye para evitar dropcalls. .
CAMBIO DE PARÁMETRO RXLEVMIN	Problemas de falta de cobertura o demasía de cobertura	Usado para áreas rurales, urbanas, aumento si quiero ingresar en lista de neighboirs seldas buenas
POTENCIA DE *DOWNLINK*	Control de interferencia cocanal y accesos lejanos	Disminuición en dB.Se lo cambia en DATABASE.
PLAN DE FRECUENCIAS BCCH	Control de interferencias cocanal y adyacente	Se cambia el BCCH en DATABASE Y TORNADO N.
BSIC	Coincidencias de parejas BSIC_BCCH entre sitios.	Se deben asegurar que los BSICs de los sitios y los canales BCCH, no sean iguales al cambiar el plan de frecuencias en BCCH.
THRESHOLDS DE *HANDOVERS*	Control de interferencias.	Se lo hace para mejorar la calidad de la señal. RXQUAL alto
VARIOS	ACCESOS FALLIDOS, ALTOS FER, DROPCALLS NO EVITABLES	SE RECOMIENDA PONER UN SITIO NUEVO EN LOS PUNTOS CRITICOS, ASÍ MISMO ENSANCHAR EL ESPECTRO EN CANALES BCCH Y PONER CANALES MAS LIMPIOS

notas:

PARÁMETRO	CAMBIO Y ACTUALIZACIÓN EN TORNADO N	CAMBIO Y ACTUALIZACIÓN EN DATABASE
DOWNTILT ELÉCTRICO	X	
DOWNTILT MECÁNICO	X	
AZIMUTH	X	
ADYACENCIAS	X	X
HOM		X
RXLEVMIN		X
POTENCIA *DOWNLINK*		X
PLAN DE FRECUENCIAS BCCH	X	X
BSIC		X
THRESHOLD DE *HANDOVERS*		X
VARIOS	X	X

XXXXXXXX	CAMBIOS FÍSICOS
XXXXXXXX	CAMBIOS SOFTWARE

SOFTWARE	SUCESOS DETECTABLES
SEVEN.FIVE	INTERFERENCIAS, CODIFICACIÓN FALLOSA.
NQDI	TODO

Tabla 3.2 Tabla de análisis de Parámetros Físicos a cambiar

3.8 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD

Este método se lo realiza mediante la configuración de la base de datos y los contadores del sistema para realizar mediciones estadísticas de calidad de la red, luego de lo cual se generará una lista para cada indicador crítico de calidad. Las listas serán ordenadas desde los sitios más impactantes a los sitios menos impactantes y la optimización será efectuada dando prioridad a los sitios que estén causando el peor impacto en la red.

Para el desempeño de la red, su evaluación se lo hará por sitios y de acuerdo a la clasificación del tipo de sector: urbanos, suburbanos, rurales, para lo cual se basará en la continuidad de cobertura en el área específica.

a) Sectores urbanos: Son aquellos que poseen continuidad de cobertura en toda la extensión del área a cubrir. Es cuando el usuario que está en movimiento siempre encuentra una celda adyacente a la celda actual a la cual transferir la llamada en curso, manteniendo el nivel de la señal requerido para este tipo de *clutter*.

b) Sectores suburbanos: Son aquellos que no poseen continuidad de cobertura en toda la extensión del área a cubrir, la continuidad es limitada a un área específica; es decir, el usuario en movimiento puede encontrar un área en la cual la propia celda o la adyacente no poseen los niveles de cobertura adecuados, de acuerdo con los niveles de señal requeridos para este tipo de *clutter*.

c) Sectores rurales: son aquellos que poseen continuidad de cobertura solamente en un área muy limitada, en la cual la celda servidora posee pocas o ninguna celda adyacente que presente los niveles de señal requeridos para *handover*. Es decir, el usuario en movimiento con frecuencia puede encontrar un área en la cual la propia celda o la adyacente no poseen los niveles de señal requeridos para este tipo de *clutter* y muy probablemente el usuario va a sufrir una caída de llamada.

Como indicadores críticos de calidad se tienen los siguientes:

- TCH DROP RATE – Tasa de caída del canal TCH (2-7%)
- SDCCH DROP RATE - Tasa de caída del canal SDCCH (2-7%)
- INTRACELL HO SUCCESS RATE – Tasa de *handover* exitosos intra-celda (90-96%)
- INTERCELL HO SUCCESS RATE - Tasa de *handover* exitosos inter-celda (80-94%)
- INTERBSC HO SUCCESS RATE - Tasa de *handover* exitosos entre BCCs (75-90%)
- TCH BLOCKING RATE – Tasa de bloqueo del canal TCH (1-2%)
- SDCCH BLOCKING RATE – Tasa de bloqueo del canal SDCCH (0.5-1%)
- SDCCH UTILIZATION – Tasa de utilización del canal SDCCH (95%)
- FER UL – FER en el enlace *up link*
- CSSUCC RATE BSS (*Call Setup Successful Rate* BSS) – Tasa de establecimiento de llamadas exitosas el la plataforma BSS dentro del interfaz aire

La calidad del sistema se mejorará con el correcto uso de las siguientes funcionalidades:

- TRANSMISION DISCONTINUA DTX UL/DL
- Control de potencia DL/UL
- SFH = *Synthetised frequency hopping*
- AMR = ADATATIVE MULTIRATE
- ACTIVACIÓN DEL HALF RATE
- HCS = HIERARCHICAL *Cell Structure*

En el siguiente diagrama de flujo se muestran los pasos a seguir para optimizar cobertura mediante el método ibidem:

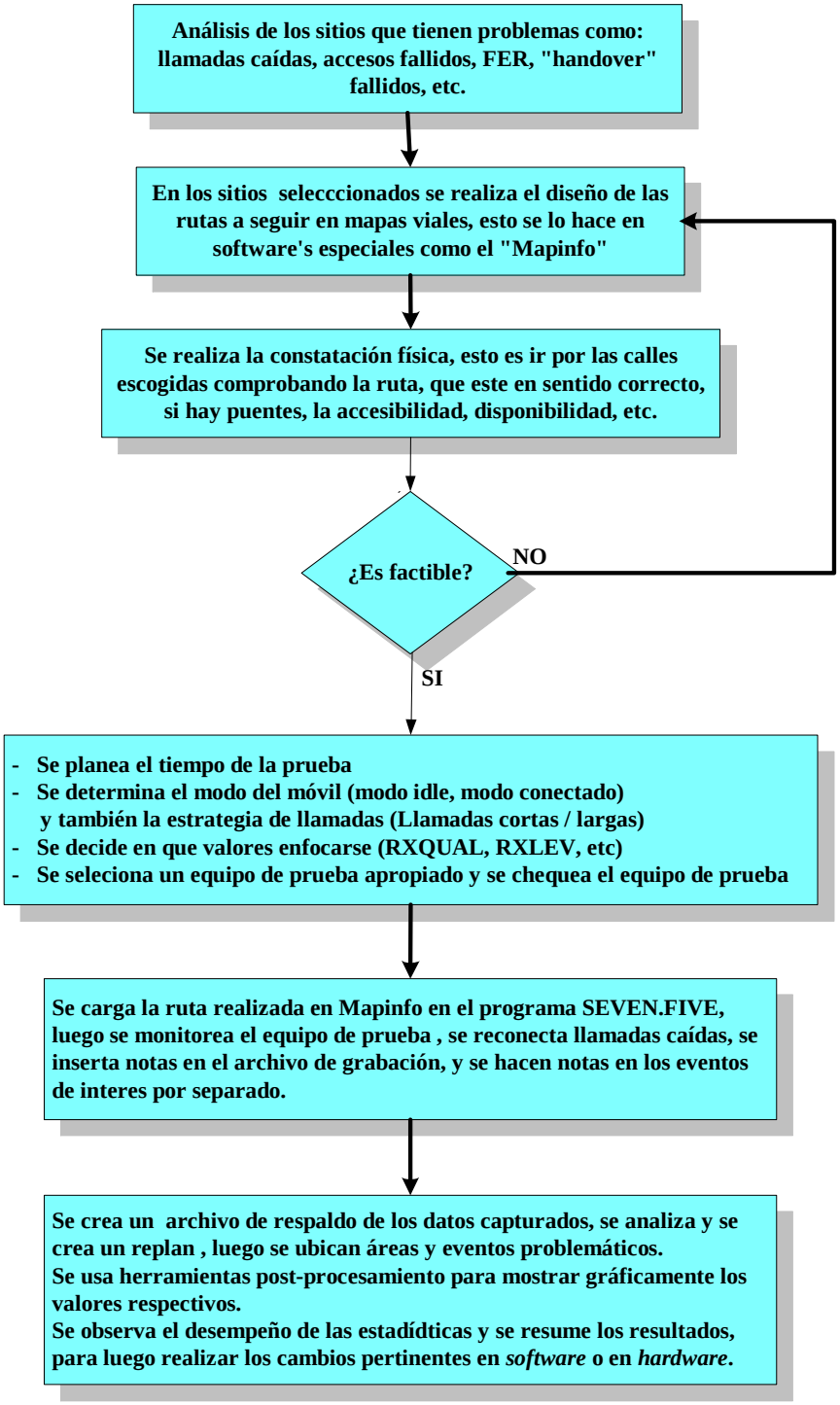


Figura 3.20 Flujograma para optimización de cobertura mediante el estudio de parámetros de calidad.

3.9 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO O *DRIVE TEST*

El Método de *drive test* consiste en la supervisión de la cobertura y la calidad de la red de telefonía móvil, mediante el control de los parámetros de la interfaz de radio. El objetivo es proporcionar al operador medidas para que éste pueda realizar lo siguiente:

- Despliegue de la red.
- Optimización de la red.
- Integración de estaciones.
- Apagado de estaciones.
- Proyectos especiales.
- *Benchmarking* (comparación) entre operadores.

Los *Drive tests* son desarrollados por el operador de la red por varias razones, las cuales se citan a continuación:

- Para chequear la cobertura en cierta área.
- Para chequear la calidad de servicio en cierta área.
- Para encontrar la respuesta para reclamos del cliente.
- Para determinar que la red no está funcionando apropiadamente.
- Para verificar que la red está funcionando apropiadamente
- Para verificar que ciertos pasos de optimización han sido exitosos.

Se debe preparar con anterioridad los *drive test*. Antes, durante y después del *drive test* se deben desarrollar los siguientes pasos:

➢ **ANTES DEL *DRIVE TEST*:**

Antes de realizar los *Drive Tests* se debe hacer lo siguiente:

- Planear la ruta por donde se va a manejar el vehículo.
- Planear el tiempo de la prueba a realizarse.

- Determinar el modo del móvil (modo “idle”, modo conectado) y también la estrategia de las llamadas (llamadas largas/llamadas cortas).
- Decidir en qué valores enfocarse (por ejemplo: RXQUAL, RXLEV, etc).
- Seleccionar un equipo de prueba apropiado y chequear el equipo de prueba.
- Reflexionar que observaciones deberían ser insertadas mas tarde en el archivo de grabaciones.

➢ **DURANTE EL *DRIVE TEST*:**

Durante la fase de realización de los *drive test* se debe hacer lo siguiente:

- Monitorear el equipo de prueba.
- Reconectar llamadas caídas.
- Insertar notas en el archivo de grabación.
- Hacer notas de los eventos de interés por separado.

➢ **DESPUÉS DEL *DRIVE TEST*:**

Luego de realizar los *Drive Tests* se debe hacer lo siguiente:

- Hacer archivos de respaldo de los datos capturados.
- Hacer un replan de los datos capturados y analizarlos.
- Ubicar áreas y eventos problemáticos.
- Usar después herramientas de post-procesamiento para mostrar los datos capturados más detalladamente y mostrar gráficamente los valores respectivos.
- Observar el desempeño de las estadísticas y resumir los resultados.

3.10 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE SIMULACIÓN DE PLOTS DE COBERTURA O PREDICCIÓN DE COBERTURA

Para este tipo de optimización se utiliza la herramienta de predicción de cobertura en plataforma CAD, como es el *ASSET 3G*.

La predicción de cobertura se lo hace después de ingresar los siguientes datos de entrada:

- Base de datos digitales de alturas geográficas del país.
- Alturas de sitios, radio bases, antenas, *feeder* (alimentadores), edificaciones.
- Tipos de antenas, cables, amplificadores, *transceivers*, etc.
- *azimuths*, *tilt* eléctricos, mecánicos.
- Bandas de frecuencia, canales BCCH (*Broadcast Common Control Channels*), TCH (*Traffic Channels*).
- Modelos de propagación, tipos de servicios en CS (*Control Station*) o PS (*Power Station*).
- Tipo de BTS (*Base Transmission Station*), *indoor*, *outdoor*, especificaciones técnicas particulares.

Este ingreso se lo hace luego de un estudio físico de campo del posible nuevo sitio a ubicar la radio base, con el fin de realizar mejoramientos de coberturas.

Todo lo anterior también se puede aplicar a sitios que ya están implementados de los cuales se realiza la simulación de:

- Cambios físicos de la antena.
- Cambios físicos de posición de la radio base.
- Aumento de sitios nuevos en la red.
- Aumento de sectores.
- Cambios en la potencia de la antena.
- Cambios en la frecuencia BCCH o TCH.
- Cambios de banda de frecuencia.

Entonces, la simulación se la hace variando todos los parámetros físicos, de base de datos, de frecuencia u otros de la BTS.

Al variar los *azimuths*, se consigue evitar que la cobertura actual de la radio base interfiera a otra de similar frecuencia o canal, lo que mejora la cobertura en otros sitios en donde la señal de recepción es mala, en sitios *indoor* en la que no se consigue suficiente cobertura o para lograr mejorar la calidad de un área determinada.

Si se cambia el *tilt* eléctrico o mecánico, en la simulación, el *plot* de cobertura va a variar de las siguiente manera: si se disminuye el *tilt* eléctrico, la cobertura se reduce de manera uniforme, en cambio si se reduce el *tilt* mecánico la cobertura se reduce no uniformemente, tendiendo a ensancharse por los lados y la parte posterior. Por otro lado si se aumenta el *tilt* eléctrico, se aumenta el haz de cobertura a lo largo, pero tendiéndose a perder la señal en las cercanías de la radio base.

Esto es para la reducción de interferencia en áreas predeterminadas, mejoramiento de cobertura en sitios necesarios y mejoramiento de estadísticas de parámetros de calidad en la red.

Si se cambia el tipo de antena, la simulación va a dar como resultado ensanchamiento del haz o disminución del haz; por ejemplo, si teniendo una antena de haz de lóbulo 90º, se cambia a una antena de 30º; la consecuencia es que la cobertura predicha va a reducir su haz (en su ensanchamiento) y mejorar características de radiación de manera vertical; esto es en el caso de que se quiera mejorar la cobertura en carreteros o áreas suburbanas-rurales.

Así antenas de 90º, se usan para áreas urbanas, densa urbanas.
Antenas de 60-65º, se usan en áreas suburbanas, urbanas, y rurales.
Antenas de 30-45º, se usan para áreas rurales y carreteros.

El cambio, en las alturas de las antenas su disminución respectiva, va a dar como simulación una cobertura reducida en su extensión pero mejorada en su anchura; esto se lo hace para mejorar coberturas cercanas, evitar interferencias y mejorar estadísticas de calidad de red. En cambio el aumento de altura de las antenas es todo lo contrario, aumenta el alcance de cobertura en su extensión, pero se pueden generar interferencias o alterar las estadísticas de calidad con celdas cercanas.

Para tener un mejoramiento de cobertura en el aspecto de calidad de la señal y en el desempeño de los parámetros de red, se realiza un cambio en los canales de frecuencia o en el plan de frecuencias de la red. Esto se lo realiza mediante simulación de *Plots* de re-uso de frecuencia, el cambio de canal se hace evitando que celdas adyacentes, cercanas o lejanas, concurran con la misma frecuencia a un punto determinado de la red, esto se consigue alternando las frecuencias del espectro disponible y mediante simulación de *Plots* de interferencia, para verificar visual y numéricamente la relación C/I existente en la red.

3.11 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE PLOTS DE COBERTURA REALIZANDO UNA CONSIDERACIÓN DE ZONAS QUE SE LAS PUEDE TOMAR COMO HUECOS DE COBERTURA

El procedimiento es similar al método anterior, pero se lo hace de una manera retroalimentada y dinámica como se puede ver a continuación:

- Se realiza un estudio de qué sitios son los problemáticos.
- Se hace un recorrido en pantalla de qué sitios son los mas altos geográficamente o qué sitios son los posiblemente mas accesibles para ubicar una BTS.
- Seguidamente se coloca la radio base, se ingresan las entradas necesarias, de acuerdo a datos estándar.
- Después se ingresan valores de alturas de antenas, *azimuths*, tipos de antena, tipos de *transceivers*, tipos de *feeders* y se realiza la simulación.

- De aquí en adelante, se cambian dinámicamente los valores anteriores de tal forma que las zonas problemáticas de cobertura queden en un casi 100% cubiertas y con servicio.
- El siguiente paso es utilizar un canal BCCH y TCH disponible, pero de tal forma que no cause interferencia a otras celdas cercanas o lejanas de acuerdo al procedimiento de predicción del re-uso de frecuencias y del *plot* de interferencias.
- Finalmente, el número de sitios necesarios de ubicación, será de acuerdo al tamaño del área a cubrir.
- Otros aspectos importantes a tomarse en cuenta son: los parámetros de base de datos como vecindades, *handovers*, control de potencia y lo correspondiente a estudio físico del área a cubrir, así su factibilidad de implementación, construcción, con facilidades de servicios básicos y accesos.

3.12 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE AUMENTO DE CAPACIDAD

Una de las características de los sistemas de comunicaciones móviles, es la capacidad que tienen para adaptarse a las necesidades crecientes de tráfico de nuevos usuarios. Aunque podría pensarse que la mejor manera de permitir más usuarios es degradando las características del sistema, en realidad existen varias formas de aumentar el número de usuarios sin disminuir la calidad del sistema, así se tiene:

3.12.1 DIVISIÓN CELULAR Y SECTORIZACIÓN

Existen varios aspectos importantes en la comunicación móvil. Uno de ellos es la relación señal a interferencia. Los sistemas de comunicaciones móviles se dividen en: sistemas limitados por ruido (celdas grandes, C/N=18dB) y sistemas limitados por interferencia. El primero de ellos se asocia a sistemas con radios celulares grandes de modo que la señal no deseada llega con potencia tan baja

que no produce interferencias muy destacadas. En el segundo, el radio es pequeño por tanto la interferencia se vuelve un aspecto dominante.

Otro aspecto fundamental son las consideraciones del tráfico. Según la fórmula de *Erlang B*., si se tiene un número de canales fijo es imposible atender más tráfico, sin degradar la probabilidad de pérdida fija (indica la calidad del servicio). Sin embargo, los sistemas celulares consiguen no degradar el sistema dividiendo el radio celular, así mantienen el mismo número de canales con mayor tráfico.

En el proceso de planificación celular se tiene en cuenta lo siguiente:

- Cálculo de una estructura inicial con celdas grandes.
- Sectorización de las primeras celdas.
- Reducción a la mitad del radio celular que permite mayor tráfico.

El gráfico de la división celular no es el mismo para todas las celdas, pues el aumento de tráfico no es igual para toda la zona. También se debe notar, que con la reducción del tamaño de la celda, viene también la reducción en la potencia, pues si no se ocasionarían interferencias en las celdas adyacentes. Cuando se reduce el radio celular por varias ocasiones, se incrementaría el número de emplazamientos y se generaría tal cantidad de celdas que multiplicarían el tráfico de señalización para los traspasos de comunicación entre estaciones, entonces el sistema se volvería no operativo.

3.12.2 AMPLIACIÓN DEL NÚMERO DE CANALES

La forma más fácil para conseguir aumentar la capacidad de un sistema es el aumento del número de canales. Sin embargo existen varios puntos a estudiar antes de realizar el aumento:

- Inexistencia de frecuencias disponibles.
- Proceso lento. Implica el desplazamiento de los emplazamientos para ampliar la infraestructura ya instalada.
- Los sistemas pueden no soportar el aumento de canales por la limitación de la potencia.

- Resulta ser bastante dispendioso y costoso.

3.12.3 PRÉSTAMO DE CANALES

Esta técnica consiste en compartir una serie de canales entre varias celdas de manera coordinada. Por ejemplo, cuando a lo largo del día en las zonas residenciales el tráfico se mueve de tal manera que es necesario acceder a otros canales, se emplean los de las zonas rurales; de modo que cuando un canal es utilizado en una celda este mismo se inhibe en otra.

CAPÍTULO 4. SIMULACIÓN DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE EJEMPLOS TEÓRICOS

INTRODUCCIÓN

Con el advenimiento de la Computación, una de las más importantes herramientas para realizar el diseño y operación de sistemas o procesos complejos, es la simulación.

Se puede definir a la simulación en general, como la técnica que imita el funcionamiento de un sistema del mundo real cuando evoluciona en el tiempo, utilizando para esto un simulador. Por simulador se entiende no sólo un programa de simulación y la computadora que lo realiza, sino también un aparato que muestra visualmente las entradas y salidas (resultados) de la simulación. Para este proyecto se define como simulación a la generación de *plots* (diagrama) de cobertura, el análisis del problema de optimización y la solución planteada para casos reales de optimización de red.

En el presente capítulo se realizan las respectivas simulaciones de los principales métodos de optimización de cobertura para redes celulares GSM, utilizando para esto herramientas de software como son: ASSET 3G, SEVEN.FIVE, NQDI, MAPINFO, entre otros; esto con el propósito de lograr un mejor entendimiento de los métodos estudiados en el capítulo anterior y establecer así la importancia que tiene el proyecto desarrollado.

En varios de los métodos que se consideraron, se realizan las simulaciones para diferentes casos, esto debido a los diferentes escenarios que se pueden presentar para un mismo evento, lo cual implica que también se pueden dar varias soluciones de optimización y el que se elija una u otra depende de la factibilidad de implementación de un método y de la inversión que éste representa para un

operador. Además, cabe señalar que por motivos didácticos y para efectos de simplicidad, en los ejemplos que se toman, se muestra la situación inicial y la situación final ya optimizada; sin embargo, se debe dejar en claro que para llegar a la solución final se realizaron varias pruebas previas que no se las incluye por los motivos antes señalados.

La simulación es una gran herramienta de optimización, puesto que permite realizar experimentos en la computadora. Esto ayuda a las empresas a realizar la simulación de un proyecto para ver si valdrá la pena desarrollarlo o no. Además puede servir como una prueba de pre-servicio para ensayar nuevas políticas y reglas de decisión en la operación de un sistema, antes de tomar el riesgo de experimentar con el sistema real; es decir, que la simulación es el paso previo a la aplicación en la realidad del mejoramiento de la red.

4.1 METODOLOGÍA GENERAL DE OPTIMIZACIÓN

Antes de iniciar con las respectivas simulaciones, se describe la metodología general que se debe seguir para realizar cada uno de los métodos de optimización de cobertura, tal como se muestra en el diagrama de la figura 4.1

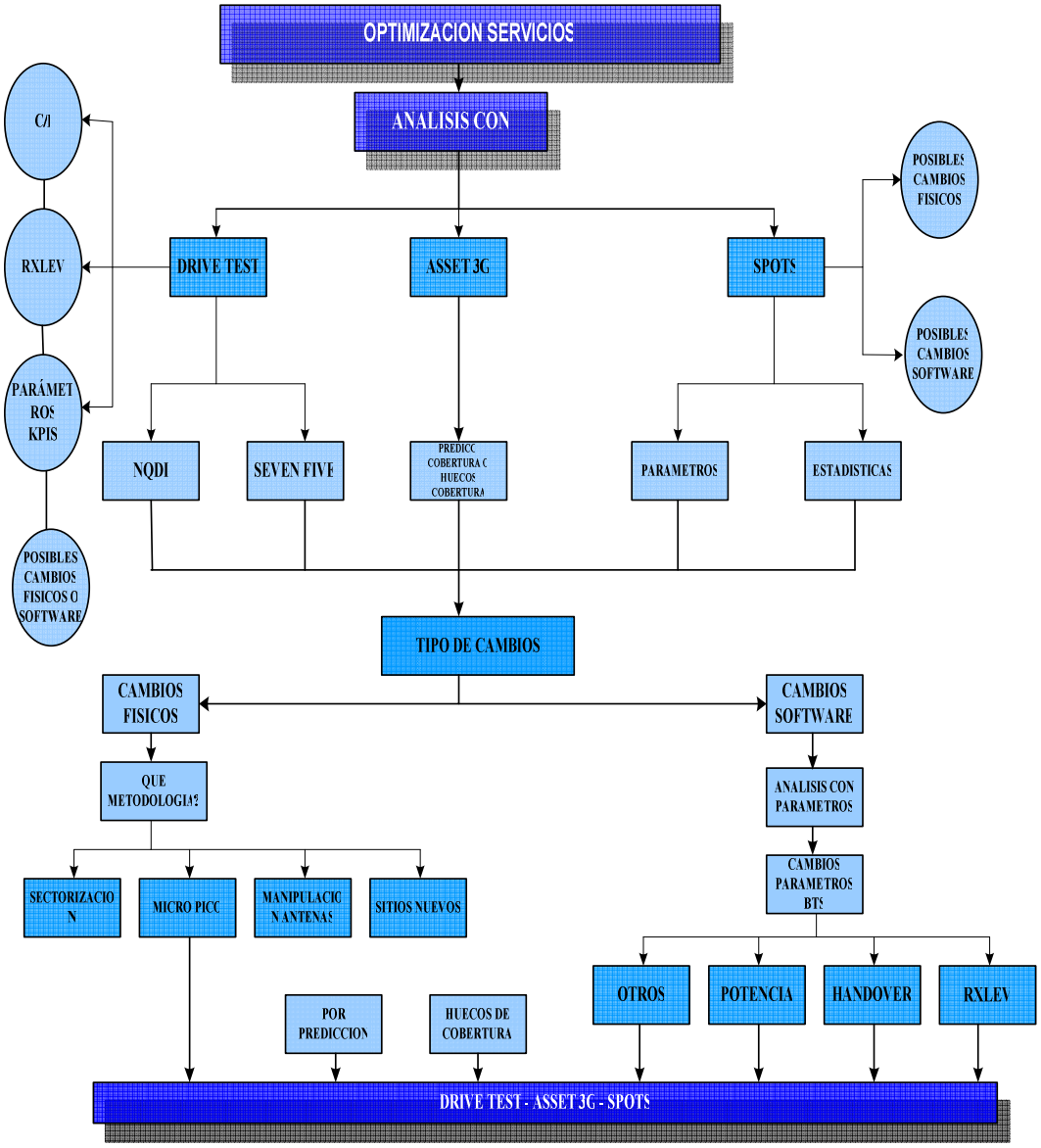


Fig. 4.1. Metodología General para Optimización de Cobertura

El diagrama anterior se puede interpretar de la siguiente manera:

Siempre se partirá, se retroalimentará y se finalizará el proceso en el siguiente orden:

1. *Drive Tests*, es el proceso de toma de muestras del comportamiento de la red, mediante simulación de llamadas reales de prueba en áreas definidas por el proveedor, objeto de la optimización.
2. Análisis mediante herramientas de predicción de cobertura, y

3. Finalmente un análisis “post – procesamiento”, que es la fase de análisis, recolección y solución de muestras y datos recolectados mediante los *drive tests* u otra herramienta disponible de software.

En primer lugar se debe escoger el tipo de factor que se desea optimizar, ya sea: capacidad, cobertura o calidad, en este caso el servicio que se elige es cobertura.

Seguidamente se debe realizar un análisis mediante *Drive Tests*, en el que se debe medir niveles de C/I (Relación señal deseada a interferente), RXLEV (Nivel de Recepción), parámetros KPIs (*Key Performance Indicators*). Todo esto se puede hacer utilizando el programa NQDI o el SEVEN.FIVE, lo cual depende de los requerimientos.

Luego se debe realizar un análisis mediante el programa ASSET 3G (TORNADO N), con el cual se realiza predicciones de cobertura. Además se debe hacer un análisis mediante el programa SPOTS, que sirve para medir parámetros y recoger estadísticas de la red.

Después de realizar todo esto, se decide el tipo de cambio que se desea realizar, el mismo que puede ser cambio físico o de software.

Si se necesita hacer un cambio físico, se debe establecer la metodología a utilizar, que puede ser por Sectorización, Micro y Pico celdas, manipulación de antenas o colocar nuevos sitios. Esto último se puede hacer mediante predicción de cobertura o por huecos de cobertura.

Si el cambio que se debe hacer es por software, se debe analizar mediante parámetros y se debe realizar cambios de parámetros en las BTSs, los mismos que pueden ser de potencia, *handover*, RXLEV u otros.

Con cualquier método que se escoja para optimizar, siempre se retroalimenta sus resultados hacia el análisis de la Red con nuevos *Drive Tests*, análisis de predicción de cobertura y análisis post-procesamiento; es decir, es un proceso

iterativo que se lo realiza hasta que se consigue el objetivo deseado, esto es mejorar la cobertura con lo cual finalmente se realiza la aceptación final de los cambios realizados.

4.2. HERRAMIENTAS DE *SOFTWARE* PARA EL DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE REDES CELULARES

Para el presente capítulo se utilizaron las siguientes herramientas de software:

- ASSET 3G – TORNADO N
- NQDI – NET QUAL DIGITAL INTERFACE
- SEVEN.FIVE
- SPOTS
- MAPINFO
- OFFICE (Utilitarios para ASSET 3G)
- ACCESS (Utilitarios para SPOTS)

Se escogieron estas herramientas porque son las más utilizadas y de las que se pudo disponer durante la elaboración del presente proyecto. A continuación se hace un breve resumen de las funciones principales de cada programa, así:

4.2.1 NQDI (NET QUAL DIGITAL INTERFACE)

Descripción:

Es una herramienta de software para el análisis y post-procesamiento de la información recolectada durante los *drive tests*.

Las principales funciones son:

- Análisis de interferencias
- Análisis de KPI
- Análisis de información de diversas formas para redes GSM, UMTS, CDMA
- Análisis estadístico limitado
- Procesamiento de la información tales como niveles de recepción, potencia de transmisión, C/I, mensajes de capa 3, RXQUAL, FER, etc.

- Interfaz amigable con MAPINFO Y SEVEN.FIVE

Datos a ingresar:

Los archivos de los *logs* (grabaciones de los móviles de las llamadas realizadas) hechos durante los *drive tests*.

Procedimiento:

- Descarga de los *logs* de la laptop usada para los *Drive Tests* y grabados con el software SEVEN.FIVE.
- Importación de *logs* en la base de datos SQL asociada al *software*.
- Configuración de que tipo de resultados (KPIs) se quiere verificar o analizar.
- Asociar los resultados gráficos con MAPINFO.

Requerimientos:

- Instalar SQL DATABASE
- Tener los *logs* disponibles
- Licencia y *software* respectivos
- MAPINFO instalado

4.2.2 SPOTS

Descripción:

Es una herramienta de software para el análisis y post-procesamiento de la información estadística recolectada por las BSCs y BTSs de la red móvil.

Las principales funciones son:

- Análisis de parámetros, funcionalidades, contadores
- Análisis de KPIs
- Análisis de información estadística de diversas formas para redes GSM, UMTS, CDMA
- Análisis estadístico de BSC, BTS y sector, por hora, día, semanas, meses y años.

- Procesamientos de la información tales como niveles de recepción, potencia de transmisión, C/I, mensajes de capa 3, RXQUAL, FER, *Handovers*, KPIs, parámetros estadísticos, contadores, etc.
- Interfaz amigable con MICROSOFT ACCESS.

Datos a ingresar:

Archivos especiales tipo hexadecimal, binario, ASCII, que se deberán descargar de la BSC a través de la red central de gestión en el MOC.

Procedimiento:

A continuación se describe el procedimiento a seguir en este programa:

- Descarga de los archivos a la *laptop* usada para los *Drive Tests*
- Importación de los archivos a la base de datos SQL u ORACLE asociada al *software*.
- Configuración de los archivos para que sean interpretados mediante el software.
- Importación y traducción de los archivos descargados para ser traducidos por el software ACCESS.
- Asociar los resultados gráficos y analíticos con ACCESS.

Requerimientos:

- Instalar SQL u ORACLE DATABASE.
- Tener los archivos especiales disponibles
- Licencia y *software* respectivos.
- ACCESS instalado.

4.2.3 ASSET 3G - TORNADO N

Descripción:

Es una herramienta de software para planificación, predicción de cobertura, análisis y optimización de las celdas existentes en la red móvil.

Las principales funciones son:

- Planeación y configuración de parámetros físicos y lógicos de la red tales como: *cell id* (identificador de celda), numero de sectores, antenas, torre, *feeders*, tipo de equipo, potencias, *handovers*, vecindades, bandas de frecuencia, *Hopping*, C/I, etc.
- Análisis del plan de frecuencia, C/I, cobertura y sus respectivos *plots* para impresión.
- Análisis de información de *drive test* para diferentes redes GSM, UMTS, CDMA.
- Análisis estadístico de: BSC, BTS y sector, por hora, día , semanas, meses y años.
- Procesamiento de la información tales como niveles de recepción, potencia de transmisión, C/I, mensajes de capa 3, RXQUAL, FER, *Handovers*, KPIs,
- Interfaz amigable con ORACLE.

Datos a ingresar:

- Información geográfica de cada una de las celdas y BSCs de la red.
- Información de infraestructura física de torre, antenas, *feeders*, equipos, parámetros de bases de datos.
- Base de datos geográfica de alta resolución 5,10 o 15m del terreno (MAPA DIGITAL DEL TERRENO) instalada.
- Información de configuraciones de vecindades, *handover*, potencias adicionales o pérdidas adicionales, modelo de propagación, etc.
- Actualizar cambios en cada una de los parámetros de las celdas.

Procedimiento:

A continuación se describe el procedimiento a seguir en este programa:

- Ingreso con password en la base de datos.
- Ingreso de datos de entrada tanto en la interfaz gráfica como en la interfaz de diálogos mediante ventanas.
- Generación de *plots* de cobertura, interferencia, re-uso de frecuencia después de haber ingresado los datos suficientes.

- Importación y traducción de los archivos provenientes de los *drive tests* realizados.
- Análisis y post procesamiento de los datos de los *drive tests*.
- Exportación de datos de cobertura y sitios a MAPINFO.

Requerimientos:

- Instalar ORACLE DATABASE
- Tener los archivos especiales disponibles
- Licencia y software respectivos
- MAPINFO instalado

4.2.4 SEVEN.FIVE

Descripción

Es una herramienta de software para recolección de información, análisis y post-procesamiento de la información recolectada durante los *drive tests*.

Las principales funciones son:

- Recolección de mensajes de capa 1, capa 2 y capa 3 de los móviles bajo prueba.
- Recolección del comportamiento de los parámetros y funcionalidades de los móviles durante las llamadas en el *drive test*.
- Análisis de interferencias.
- Análisis de información de múltiples formas para redes GSM, UMTS, CDMA.
- Procesamiento de la información tales como niveles de recepción, potencia de transmisión, C/I, mensajes de capa 3, RXQUAL, FER, etc.
- Interfaz amigable con MAPINFO y NQDI.

Datos a ingresar:

Los archivos de los *logs* (grabaciones de los móviles de las llamadas realizadas) hechos durante los *drive tests*.

Procedimiento:

A continuación se describe el procedimiento a seguir en este programa:

- Instalación de las antenas, GPS, cables, equipo de medición, alimentación e interfaces.
- Programación de la duración de las llamadas.
- Diseño y graficación de las rutas a recorrer.
- Realización de los *drive test* con interfaz amigable MAPINFO.
- Descarga de los *logs* de la laptop usada para los *Drive Tests*.
- Importación de *logs* en la base de datos SQL asociada al software.
- Configuración de que tipo de resultados (KPIs) se quiere verificar o analizar.
- Asociar los resultados gráficos con MAPINFO.

Requerimientos:

- Tener los *logs* disponibles
- Licencia y software respectivos
- MAPINFO instalado
- Software especial de los móviles instalado y asociado a los móviles

4.3. SIMULACIONES

Para los diferentes métodos escogidos para este capítulo, se asumen uno o más ejemplos que tienen ciertas características y que luego de analizarlos se hace la respectiva simulación y se establece que se requiere optimizar su cobertura. Con estos resultados se hacen las modificaciones necesarias y se hace una nueva simulación, este proceso se repite hasta que se consigue tener la cobertura deseada, con lo cual se realiza la aceptación final de los cambios realizados.

4.3.1 MODELO DE PROPAGACIÓN

El modelo de propagación que se utiliza para realizar las simulaciones de cobertura es el siguiente:

$$Pathloss[dB] = k1 + [k2 \cdot \log(d)] + k3 \cdot (Hms) + k4 \cdot \log(Hms) + [k5 \cdot \log(Heff)] + \\ +[k6 \cdot \log(Heff) \cdot \log(d)] + k7 \cdot diffn + C\_loss$$

[Ecuación 4.1]

De donde:

d: distancia de la BTS al móvil (km).

Hms: Altura del móvil sobre el nivel de la tierra.

Heff: Altura efectiva de la antena de la BTS.

diffn: Pérdida de difracción calculado usando Epstein, Peterson, Deygout o métodos equivalentes. Knife edge de Bullungton.

k1 y k2: Intercept y Slope. Corresponde a una constante offset (dBm) y un factor de multiplicación para el log de la distancia entre la BTS y el móvil.

k3: Factor de la altura de la antena del móvil. Factor de corrección usado para tomar en cuenta la altura efectiva del móvil.

k4: Factor multiplicado para el logaritmo de la altura efectiva de la antena.

k5: Ganancia efectiva de la antena.

k6: log (Heff) log (d). Este es el factor multiplicativo Okumura – Hata para log (Heff) log (d).

k7: Difracción. Es un factor multiplicativo para cálculos de difracción.

C_loss: Especificaciones del *clutter* tales como alturas y separaciones son también tomados en cuenta en el cálculo.

Este modelo, puede ser modificado y aproximado, realizando los cambios correspondientes en los factores k de la siguiente manera:

Para la Banda 900 MHz; 850 MHz.

PARÁMETRO	BANDA	
	900 (Mhz)	850(Mhz)
Altura del móvil Rx	1,5	1,5
Radios de la tierra	8493	8493
K1	135	146.9
K2	38	50,1
K1(near)	0	146,9
K2(near)	0	44,9
K3	-2,55	0
D<	0	0
K4	0	0
K5	-13,82	-13,82
K6	-6,55	-6,55
K7	0.7	0.6
Algoritmo para la altura efectiva de la antena (Heff)	Relative	
Algoritmo de pérdida de difracción	Elstein Peterson	

Tabla 4.1. Parámetros del modelo de propagación

De la misma forma se pueden variar los factores de corrección de *Clutter* de acuerdo a la siguiente tabla:

Factores de corrección de Clutter	
Denso Urbano	0
Urbano	-3
Suburbano	-9
Rural	-9
Bosques	-10
Ambiente abierto	-28
Ríos, lagos	-28

Tabla 4.2 Factores de corrección de *Clutter*

4.3.2 CONSIDERACIONES PARA EL ENTENDIMIENTO DE *PLOTS* DE COBERTURA

Para obtener *Plots* de cobertura, es necesario realizar con anterioridad la digitalización de los mapas del territorio que se quiere optimizar. Este punto no se lo realiza en este proyecto, puesto que ya se cuenta con mapas digitalizados y además no está dentro del alcance del proyecto desarrollado; sin embargo, es importante conocer el proceso básico de digitalización de mapas, el mismo que se puede revisar en el ANEXO B.

Es necesario resaltar, que para todos los *Plots* que se muestran a continuación se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Escala de Base de Datos (Alturas y *Clutters*):**
  50 m para todo el país.

- **Niveles de Potencia de los colores mostrados en los *Plots*:**

Ambiente	Colores	Nivel de Potencia (dBm)
Urbano denso	**Rojo**	$x \geq -65$
Urbano	**Naranja**	$-69 \leq x < -65$
Suburbano	**Amarillo**	$-78 \leq x < -69$
Carretera y rural	**Verde claro**	$-86 \leq x < -78$
Rural (*outdoor*)	**Azul eléctrico**	$-92 \leq x < -86$

Tabla 4.3 Niveles de Potencia de acuerdo a los colores que aparecen en los *Plots*

- **Escalas de Mapas utilizados:**

Las escalas de los mapas que se utilizaron para realizar las simulaciones son las siguientes:

  - Pequeñas:
    1 : 100000 (Zoom pequeño – vista lejana)
  - Medianas:
    1 : 80000 (Zoom mediano)

- Grandes:
  1 : 50000 (Zoom grande – vista cercana)

Cabe señalar que en algunos de los ejemplos que se verán a continuación, en las figuras que muestran la solución optimizada, se aumenta la escala del mismo; esto con el propósito de visualizar mejor los resultados.

4.3.3 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE SECTORIZACIÓN

Este método de optimización se lo utiliza cuando se tienen los siguientes casos:

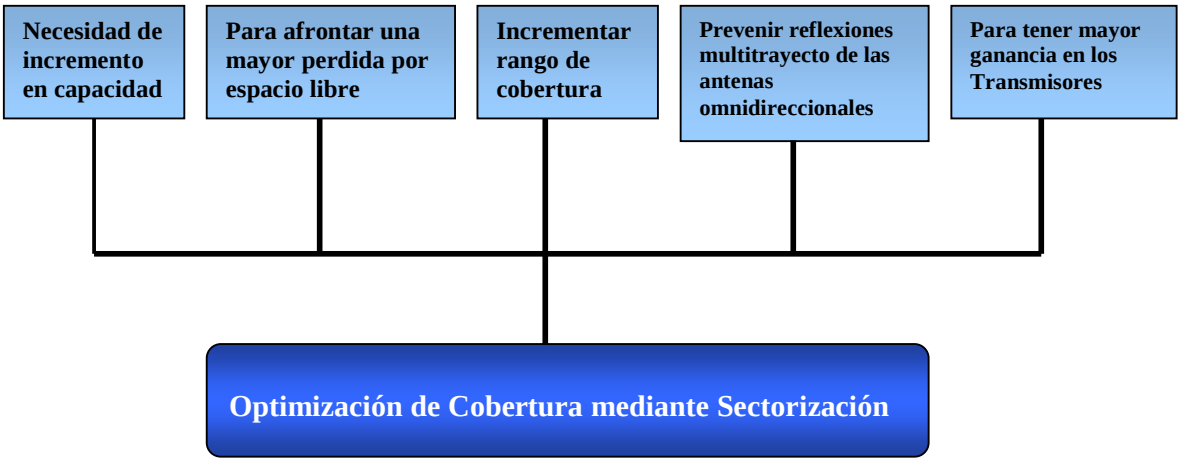


Figura 4.2 Diagrama de flujo con los casos mas frecuentes para la Optimización de Cobertura mediante Sectorización

4.3.3.1. Primer caso

a) Para este ejemplo, se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: La celda objeto de la optimización se encuentra en una zona tipo suburbano y rural.

Datos técnicos:

- Número de Sectores: 2

- *Azimuths* (orientación geográfica de la antena respecto al norte verdadero – geográfico –)= 40º (sector A) y 225º (sector C)
- Altura de las Antenas = 48m.
- Lóbulo de antenas = 60º
- Tipo de *Feeder* (alimentador: cable o guía de onda)= 7/8 ”
- *Clutters* (característica del terreno) a cubrir = suburbano, rurales y carreteras.
- Banda de Operación = 850 MHz.
- Otros datos:
    - Crecimiento poblacional: Se ha detectado un alto índice de crecimiento poblacional al sureste de la celda, con un grado de demanda de servicios de telefonía celular.

Con estos datos, la Cobertura que se tiene actualmente es la que se muestra en la siguiente figura, así:

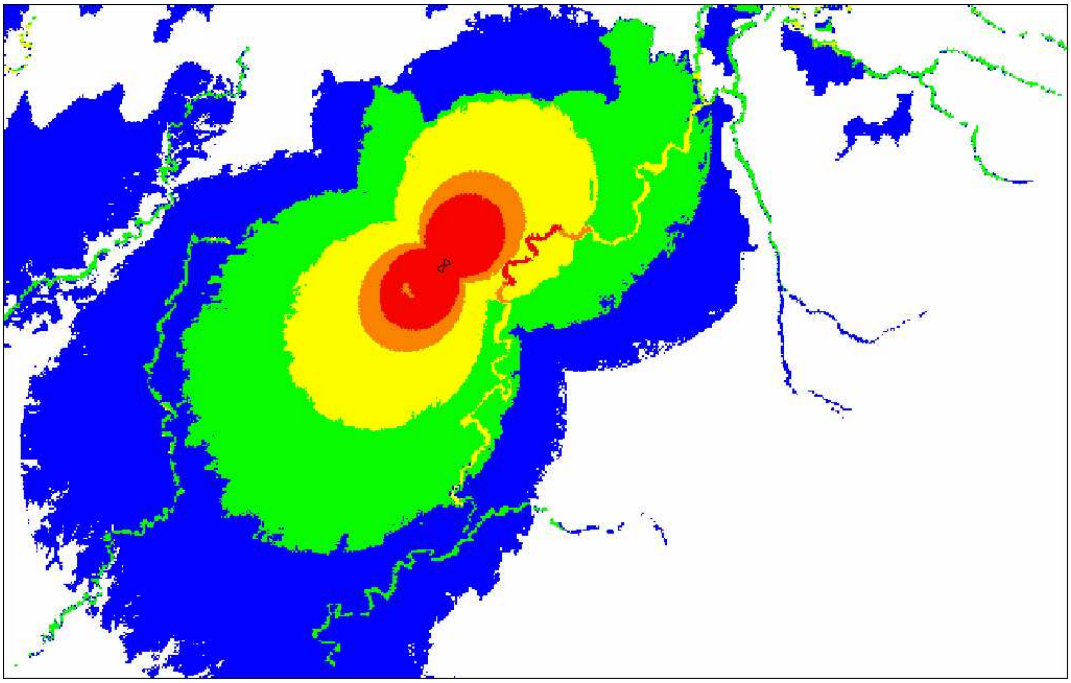


Figura 4.3 Cobertura que presenta la celda del ejemplo mencionado, que tiene dos sectores

b) El Objetivo de la Optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en:

Brindar una cobertura adicional a poblaciones circundantes al sureste de la celda, debido a que existe una creciente demanda en esta dirección y la cobertura actual no es suficiente para cubrir dicha demanda.

c) La solución que se propone es sectorizar de la siguiente manera:

Aumentar un sector en la parte que se requiere, calculando la altura adecuada para colocar el sitio, asignando un tipo de antena que cubra esta población suburbana y que cumpla con las necesidades de cobertura de las zonas carentes de señal y sobre todo recalcular los *azimuths* para que las separaciones entre los 3 sectores sean las más adecuadas.

Por lo tanto, se asigna un tercer sector que será el sector B. La altura de la antena será la misma que en los otros 2 sectores debido a que la altura máxima de las antenas es de 48m porque se tiene un recurso limitado en la torre, la apertura de la antena sería de 60º para el caso de poblaciones bajo demanda, el *feeder* seria del tipo LDF5-50A marca ANDREW especial para la banda de GSM.

- **Procedimiento**

La celda a optimizar tiene 2 sectores (sector A y sector C), con *azimuth* de 40º y 225º, respectivamente, cada antena presenta un lóbulo de radiación con apertura de 60º, gráficamente se lo puede representar como se indica en la figura 4.4.

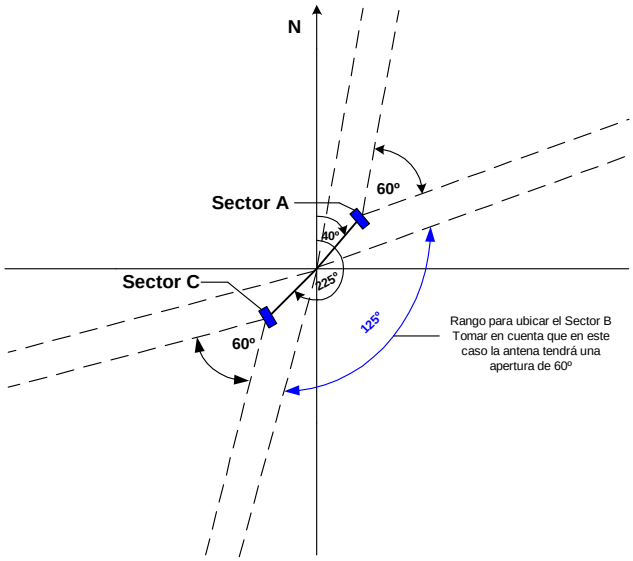


Figura 4.4 Representación gráfica de los *azimuth* de cada sector

Debido a que existe la necesidad de brindar cobertura en la parte sureste de la celda y de acuerdo a la figura 4.4 se puede observar que se tiene un rango de 125º entre el sector A y el sector C para la ubicación del nuevo sector (sector B), bajo estas circunstancias se procedió a ubicar el sector en la zona a cubrir e inicialmente se lo colocó con un *azimuth* de 135º, estos datos se ingresaron en el programa ASSET 3G como se muestra en la figura 4.5.

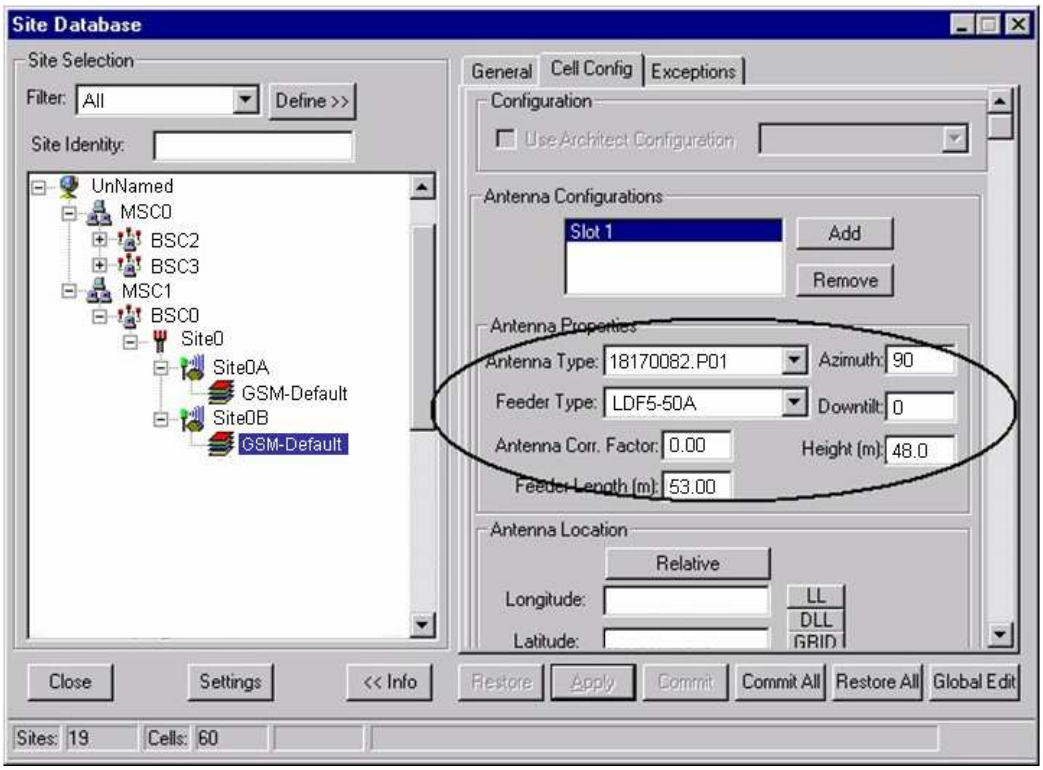


Figura 4.5 Ingreso de datos en ASSET 3G_Sector B

Luego de esto se hizo correr el programa para obtener el correspondiente *plot* de cobertura, en el que se pudo observar que se cubría la zona problema solo en una parte y quedaba todavía sin cobertura parte de la población entre los sectores A y C.

Por tal razón se cambió nuevamente el *azimuth* del nuevo sector B a un valor de 90º, datos que se manipularon en el programa ASSET 3G como se muestra en la figura 4.6

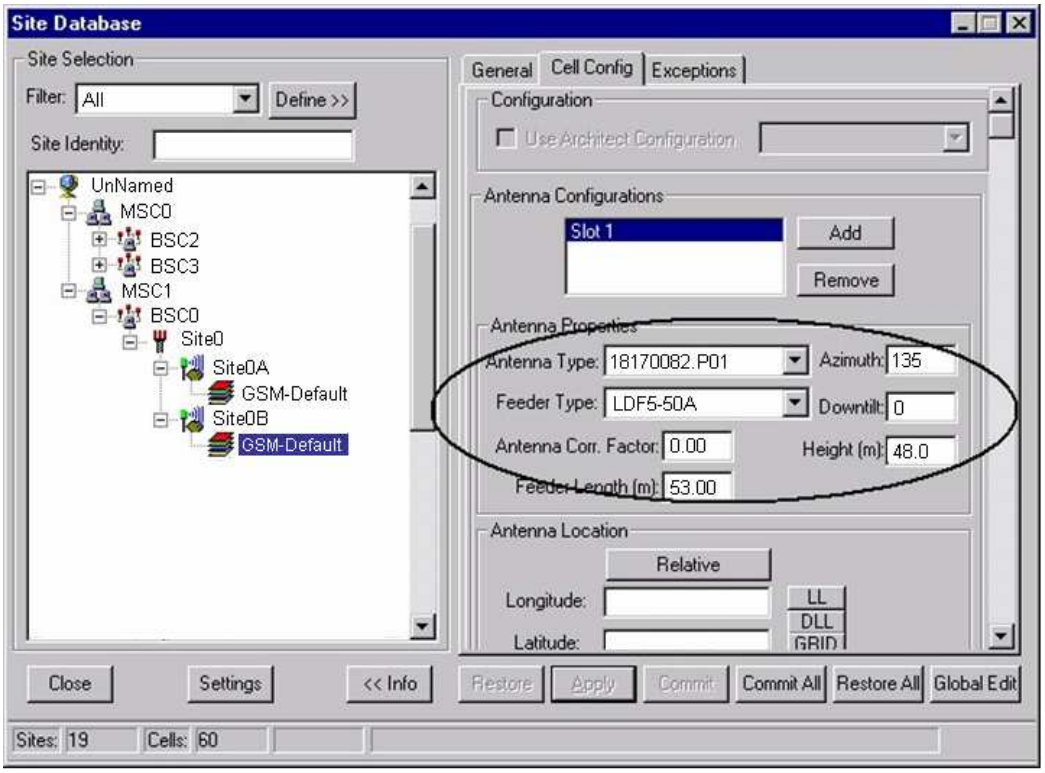


Figura 4.6 Variación de parámetros_Sector B

Con estos datos se hizo correr el programa para obtener el correspondiente *plot* de cobertura, en el cual se observó que ya se lograba cubrir la zona problema en su totalidad, sin embargo se tuvo sobrelapamiento entre los lóbulos de radiación de las antenas de los sectores A y B, por lo que se tuvo que ir variando el *azimuth* del sector A hasta que se encontró que el valor más adecuado era de 25º.

Con todo esto los nuevos *azimuths* serían:

Sector A = 25º

Sector B = 90º

Sector C = 225º

Con estos nuevos valores de azimuth, se hizo correr nuevamente el programa ASSET 3G para obtener el correspondiente *plot* de cobertura, que se muestra en la figura 4.7

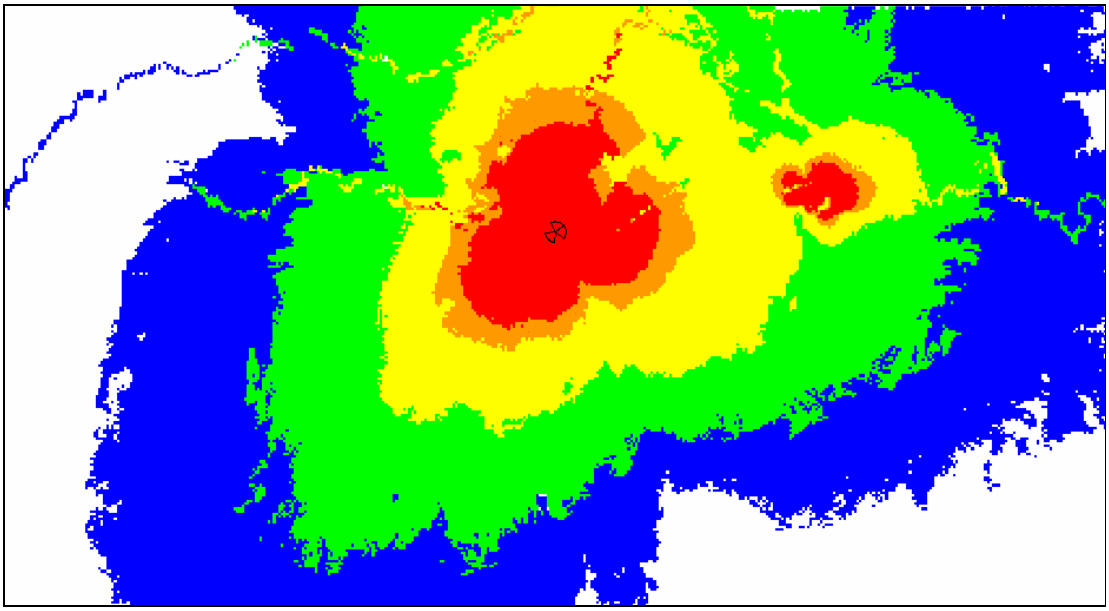


Figura 4.7 Optimización de Cobertura incrementando de dos sectores a tres sectores

d) El resultado de la solución adoptada, se muestra en la fig. 4.7, en donde efectivamente se puede ver que el efecto logrado es cubrir una zona que tiene demanda de cobertura, lo cual cumple con el objetivo planificado.

Una vez que se ha conseguido la situación deseada, la BTS a implementarse sería la que se muestra en la fig. 4.8

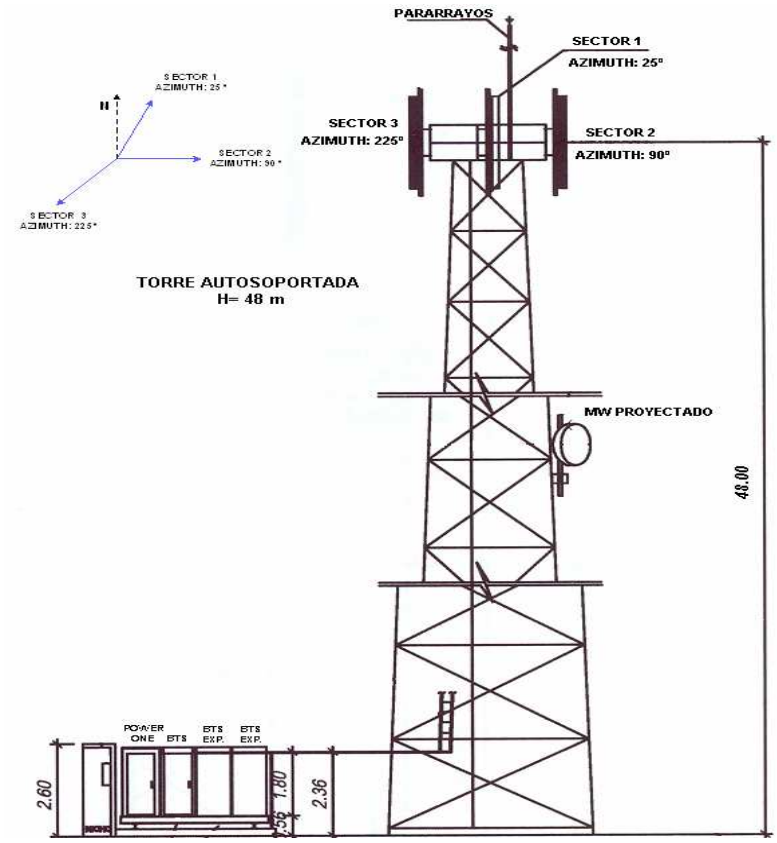


Figura 4.8 Estructura de BTS a implementarse

4.3.3.2 Segundo caso

a) Para este ejemplo, se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: La celda objeto de la optimización se encuentra en una zona tipo suburbano.

Datos técnicos:

- Número de Sectores: 1
- *Azimuths* = 10º (sector A)
- Altura de las Antenas = 36m
- Lóbulo de antenas = 60º
- *Clutters* a cubrir = suburbano y rurales
- Banda de Operación = 850 MHz
- Otros datos:

- Crecimiento poblacional: Se asume que se necesita brindar una cobertura adicional a probaciones circundantes que se encuentran al sur de la celda.

Con estos datos, la Cobertura que se tiene actualmente es la que se muestra en la figura 4.9:

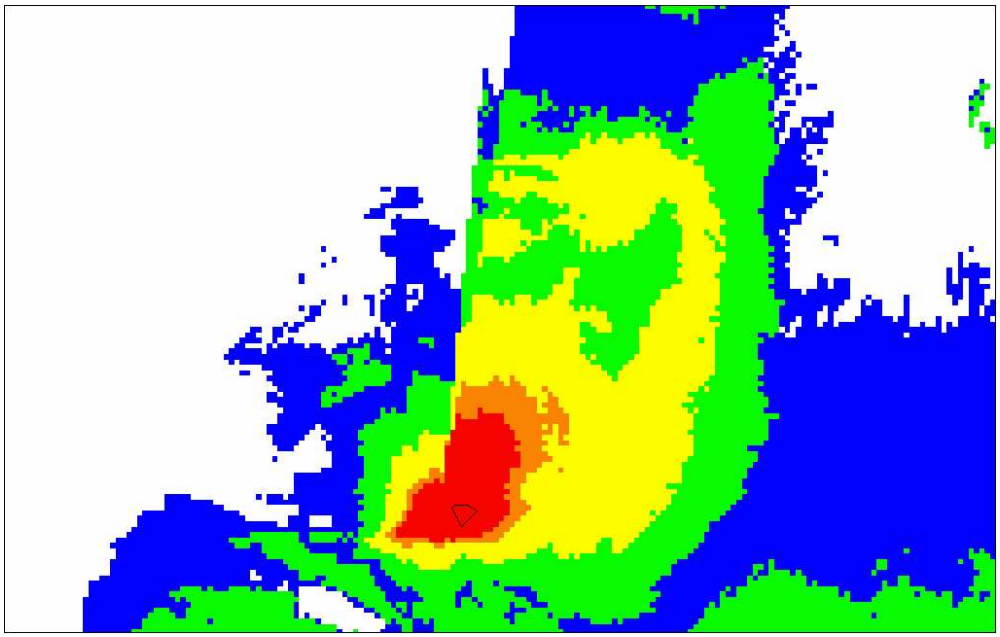


Figura 4.9 Cobertura que presenta una celda del ejemplo con un sector

b) El Objetivo de la Optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en: Brindar una cobertura adicional a poblaciones circundantes ubicadas al sur de la celda, debido a que existe una creciente demanda en esta dirección.

c) La solución que se propone es sectorizar de la siguiente manera:

Aumentar un sector en la parte que se requiere, calculando la altura adecuada, implementar un tipo de *feeder* estándar de acuerdo a lo hecho en la red, asignarle un tipo de antena que cubre poblaciones suburbanas, que pueda cumplir con las necesidades de cobertura de las zonas carentes de señal y sobretodo recalcular los *azimuth* para que las separaciones entre los 2 sectores sean las mas adecuadas.

Por lo tanto, se asigna un segundo sector que se denomina sector 2, la altura de la antena será la misma que en el otro sector, esto es 36m, la

apertura de la antena es de 30 º, el *feeder* seria de LDF5-50 especial para la banda de GSM, se opta por cambiar las antenas por unas de 30º ya que las zonas a cubrir necesitan que el haz tenga solo 30º, debido a que en su mayoría son zonas de carreteras, rurales y debido a las separaciones entre sectores.

Con estas consideraciones, los nuevos *azimuths* serían:

S1 = 45º

S2 = 210º

Se escogen estos valores ya que el sobrelapamiento debe ser menor entre sectores de la misma celda.

d) El resultado de la solución adoptada, se muestra en la fig. 4.10, en donde efectivamente se puede ver que el efecto logrado es cubrir una zona que tiene falta de cobertura (mediante simulación en ASSET 3G), lo cual cumple con el objetivo planificado.

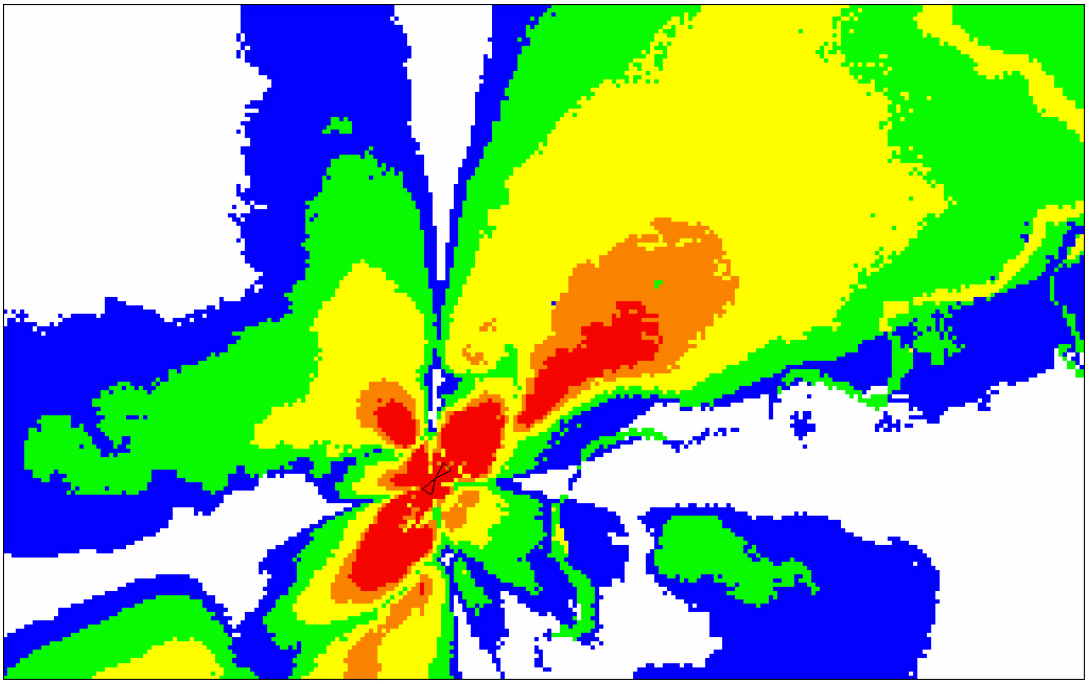


Figura 4.10 Optimización de cobertura incrementando de un sector a dos sectores

4.3.4 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MICROCELDAS Y PICOCELDAS

El método de optimización utilizando microceldas, se aplica cuando se tienen los siguientes casos:

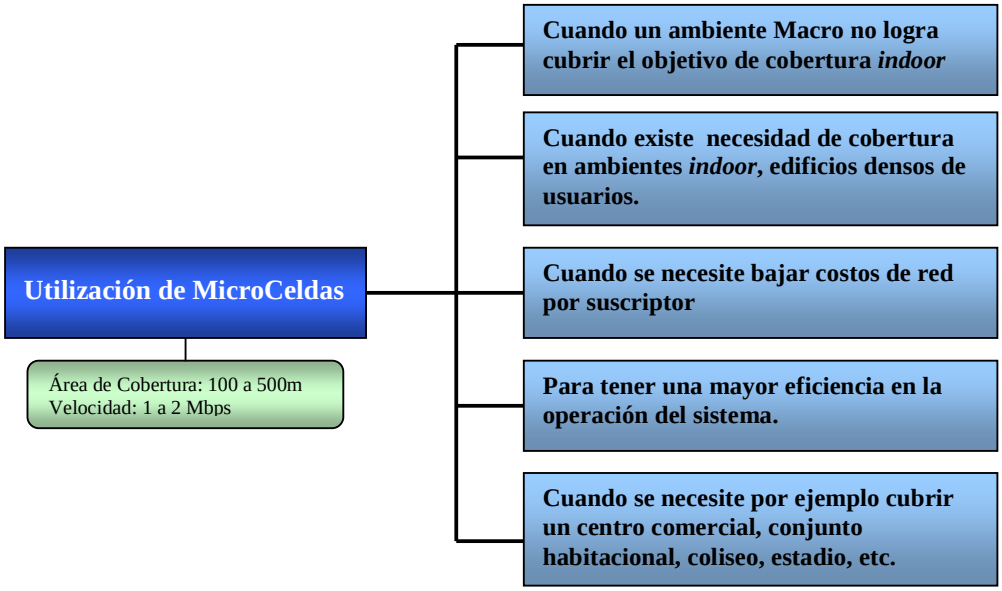


Figura 4.11 Casos en los que se utiliza Micro-Celdas

El método de optimización utilizando picoceldas, se aplica cuando se tienen los siguientes casos:

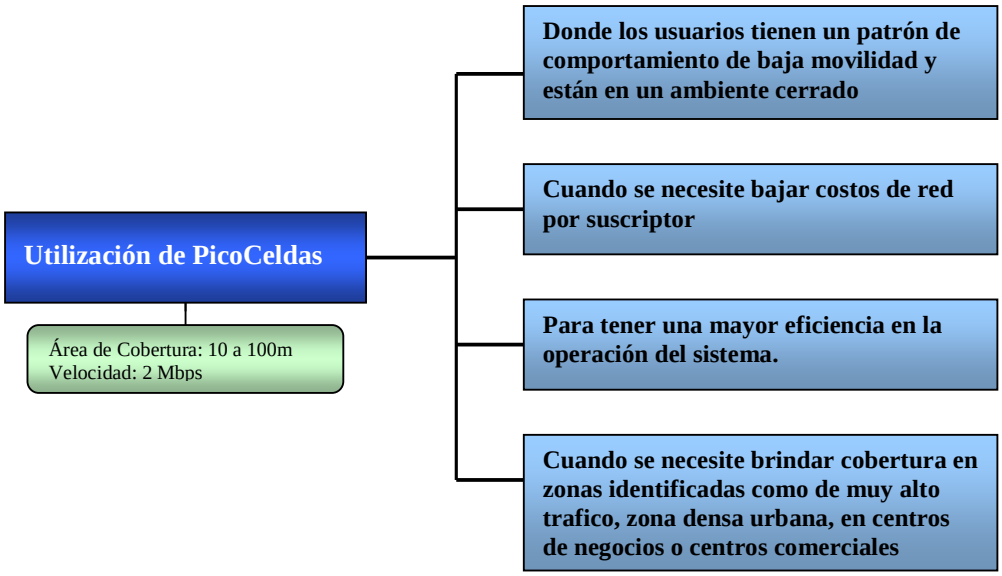


Figura 4.12 Casos en los que se utiliza Pico-Celdas

a) Para este ejemplo, se asume el caso en que un centro de distracciones que está ubicado en una zona comercial y que además es un lugar altamente visitado, no tiene cobertura suficiente desde las áreas principales y urbanas de la ciudad, tal como se muestra en la fig. 4.13.

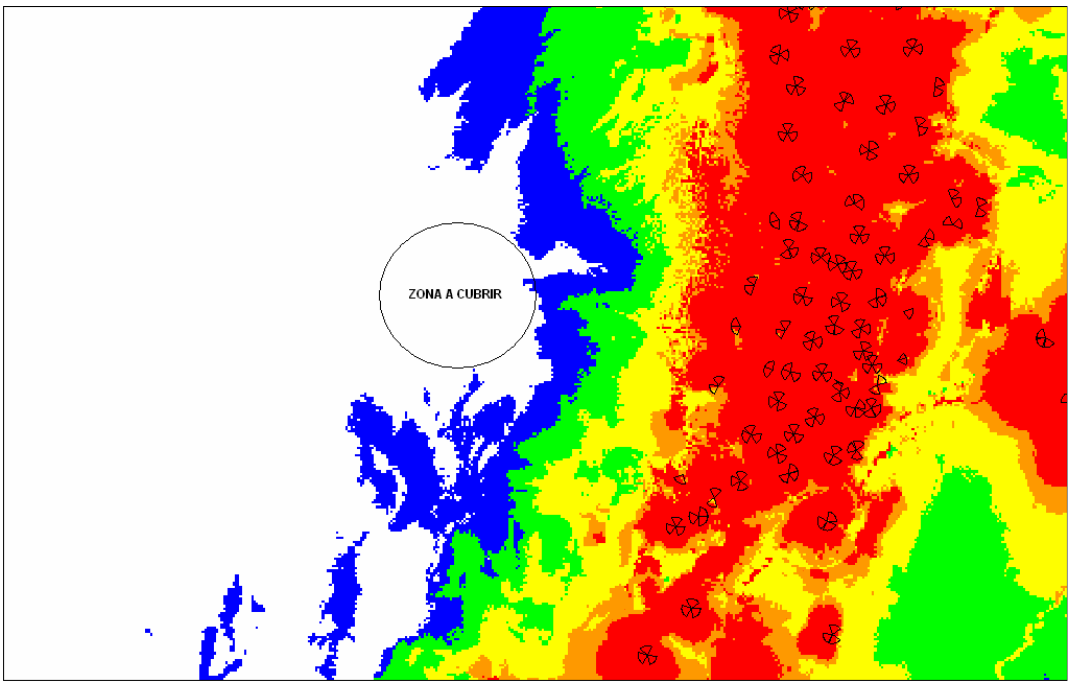


Figura 4.13 Cobertura inicial

b) El Objetivo de la Optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en: Existe la necesidad a corto plazo de cubrir esta zona puesto que cada día es mayormente visitada, esta necesidad de trafico, se la va a cubrir de acuerdo a la demanda, en horas laborables y durante todos los días, el tipo de *clutter* es suburbano y rural, con bosques cercanos y un poco alejado de la zona principal de la ciudad. Este caso también se aplica a Parques o en centros de alta demanda de tráfico como Centros Comerciales.

c) La solución que se propone es instalar una micro celda en el lugar y para esto se plantea poner el sitio a 15 m sobre el nivel del piso, con una sola antena de apertura 60º, para tener una cobertura completa a nivel horizontal y cubrir tráfico suficiente que se genere en ese *hot spot* (punto en donde se genera un alto tráfico); con un equipamiento tipo micro - BTS.

También se pudo haber elegido colocar una antena de 360º para cubrir la zona, pero esto se aplica más a nivel *indoor*, el ejemplo que se menciona es a nivel *outdoor*.

d) El resultado de la solución incluyendo una micro celda, se puede ver en la fig. 4.14.

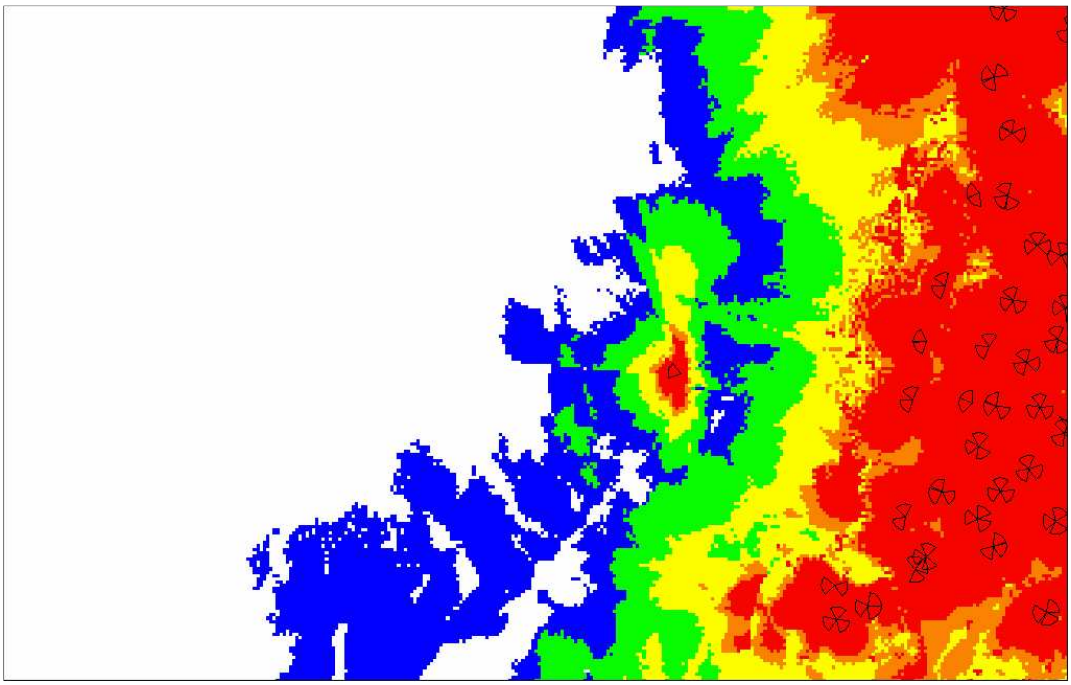


Figura 4.14 Cobertura final con celda micro

4.3.5 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE MANIPULACIÓN DE ANTENAS

Este método de optimización se lo utiliza cuando se tienen los siguientes casos:

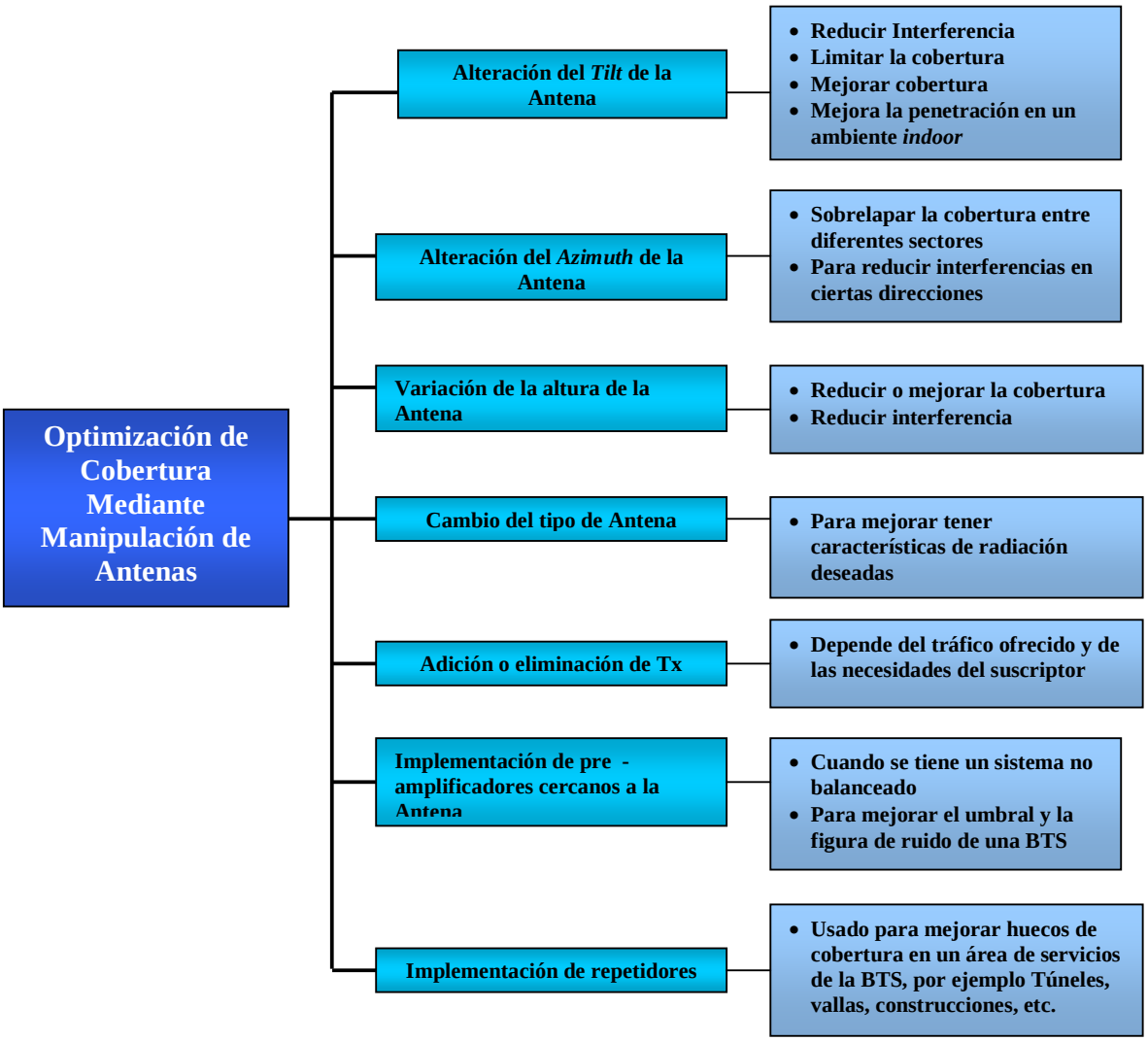


Figura 4.15 Casos en los que se utiliza Optimización de Cobertura mediante Manipulación de Antenas

4.3.5.1 Primer caso

a) Para este ejemplo se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: La celda objeto de la optimización se encuentra en una zona tipo rural.

Datos técnicos:

- Número de Sectores: 2
- Altura de las Antenas: $h_A = h_C = 60$m.

  Donde h: altura del sector correspondiente

- *Tilts* (Aumento o disminución de la inclinación de la antena) Eléctricos:
    - S_B; *Tilt* eléctrico en el sector B = 0º; *Azimuth* = 150º
    - S_C; *Tilt* eléctrico en el sector C = 0º; *Azimuth* = 280º
- *Clutters* a cubrir = rurales y carreteras
- Otros datos:

  Hay poblaciones circundantes alrededor de la celda y así mismo hay varias estaciones con re-uso de frecuencia (plan de frecuencia limitada) y se está trabajando en la banda de 850 MHz.

Con estos datos, la cobertura que se tiene inicialmente es la que se muestra en la figura 4.16:

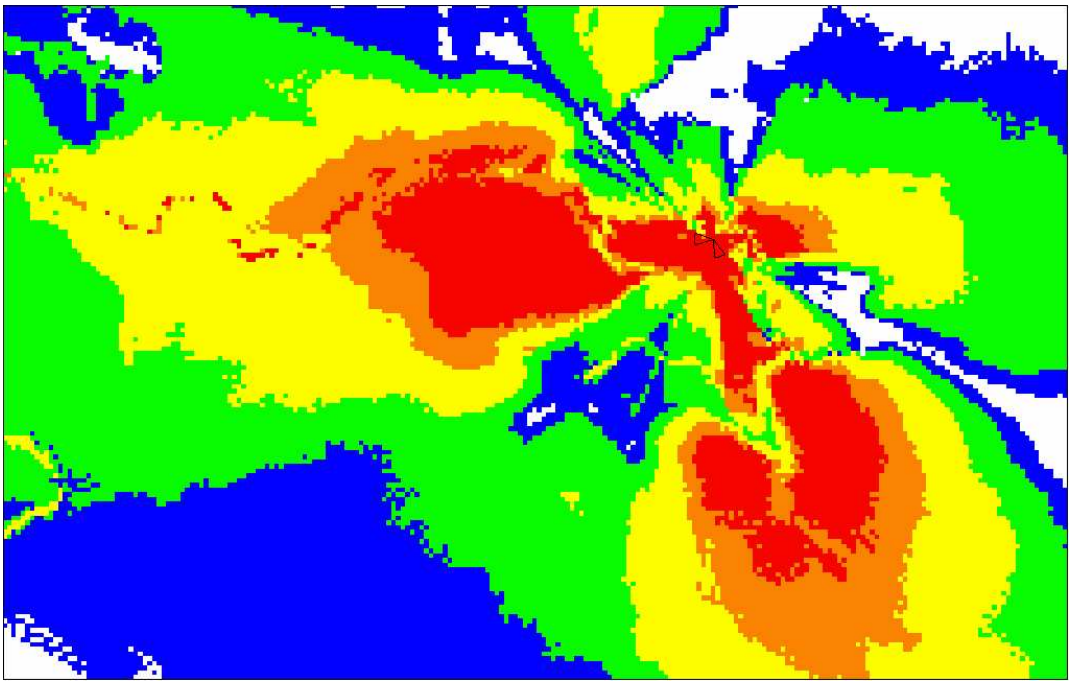


Figura 4.16 Cobertura inicial del ejemplo mencionado

b) El Objetivo de la optimización de la cobertura para este ejemplo, consiste en:

Mejorar la calidad de la señal en sitios circundantes a la celda actual, debido a que existe una interferencia en las zonas de otra celda semejante en un canal BCCH del sector A y C, pero sin dejar de brindar cobertura a las poblaciones que también cubren en parte la celda interferente.

c) La soluciones que se proponen son las siguientes:

Mediante la alteración del *Tilt* eléctrico o mecánico de las antenas, se lograría disminuir la interferencia con la otra celda de igual BCCH, teniendo en cuenta no comprometer la cobertura original de la celda.

Por lo tanto, se disminuirá niveles de la señal de la celda original a nivel lejano, mediante la disminución del *Tilt* (*down tilt*) eléctrico de las antenas de los 2 sectores. Se realiza *down tilt* eléctrico y no mecánico, porque para este caso se desea que la señal varíe uniformemente.

- **Procedimiento**

La celda a optimizar tiene 2 sectores (sector A y sector C), cada uno tiene antenas con *tilt* eléctrico inicial de 0º. Debido a que existe interferencia en las zonas de otra celda semejante en un canal BCCH del sector A y C, se deben variar los valores de *tilt* gradualmente hasta conseguir disminuir al máximo posible la interferencia causada con la celda de igual BCCH pero sin dejar de brindar cobertura a las poblaciones que también cubren en parte la celda interferente.

Bajo estas circunstancias se procedió a disminuir el *tilt* eléctrico en 1º para las antenas de los dos sectores, estos valores se ingresaron en el programa ASSET 3G como se muestra en las figura 4.17 y 4.18 respectivamente.

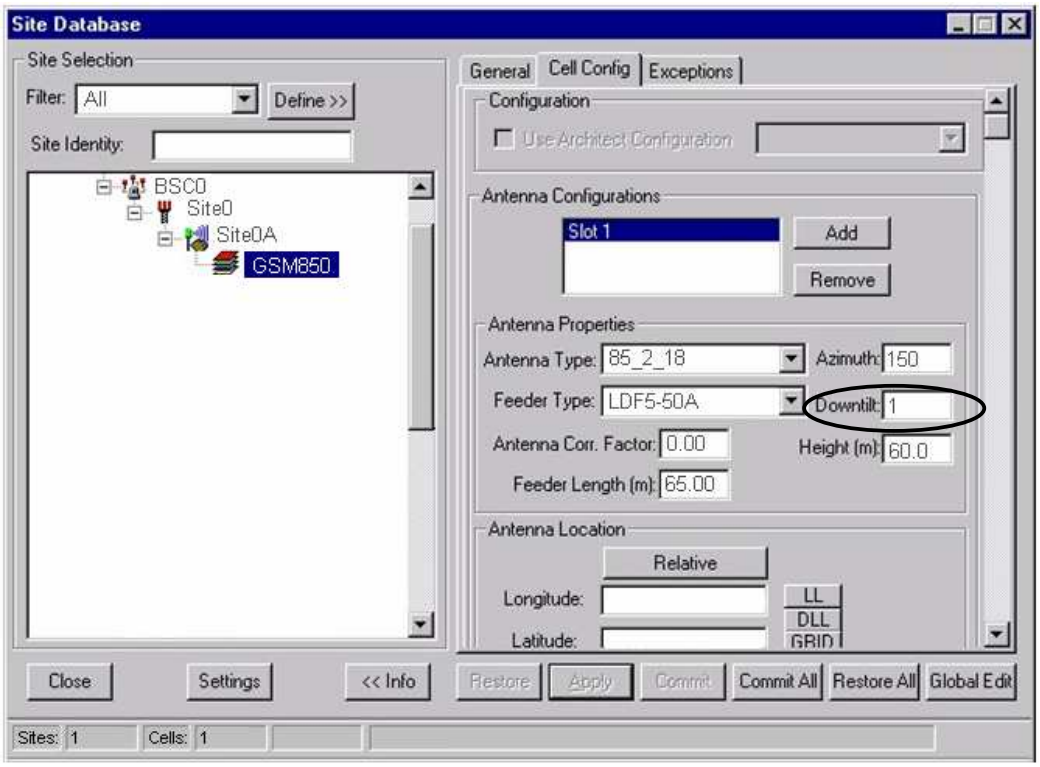
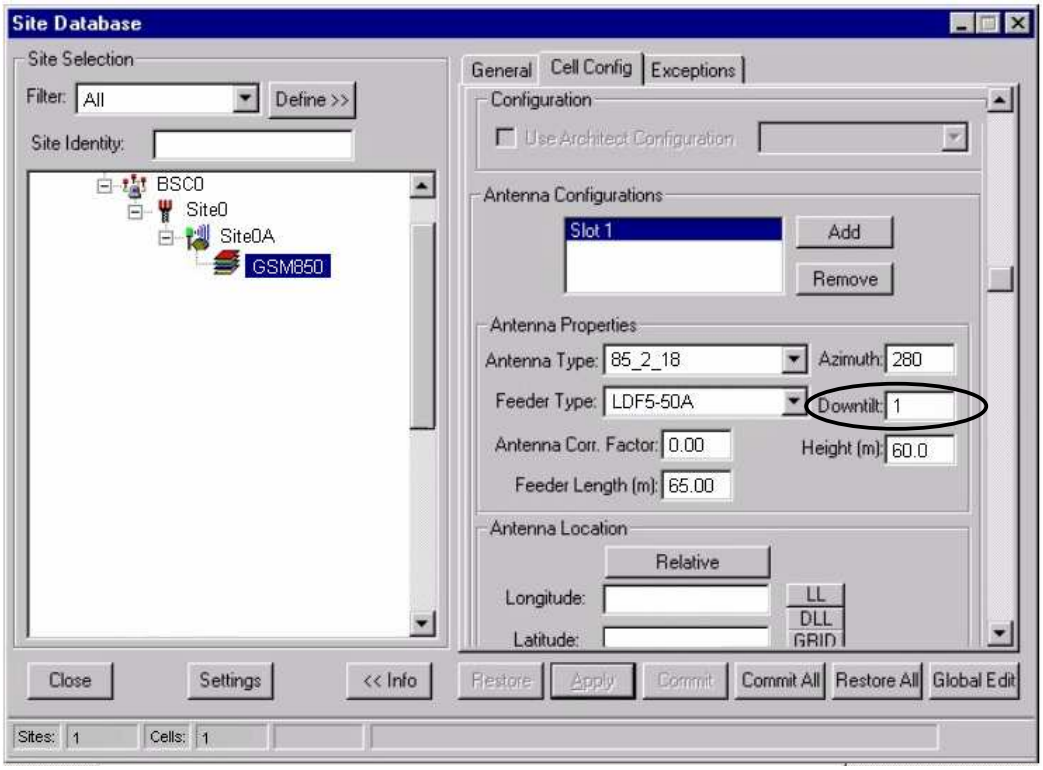


Figura 4.17 Ingreso de Datos en ASSET 3G_Sector A



Fifura 4.18 Ingreso de Datos en ASSET 3G_Sector C

Luego de esto se hizo correr el programa para obtener el correspondiente *plot* de de cobertura, en el que se pudo observar que aún existía interferencia con otra celda. Luego de este análisis y después de varias pruebas, se disminuyeron los *Tilt* eléctricos (*down tilt*) en 2º, datos que se manipularon en el programa ASSET 3G como se muestra en las figuras 4.19 y 4.20

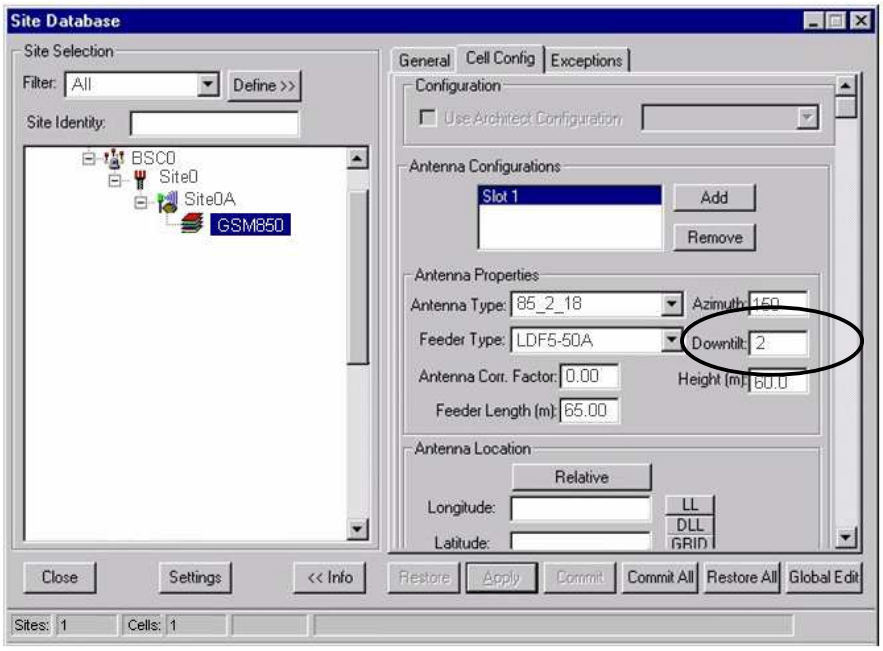


Figura 4.19 Variación de parámetros en ASSET 3G_Sector A

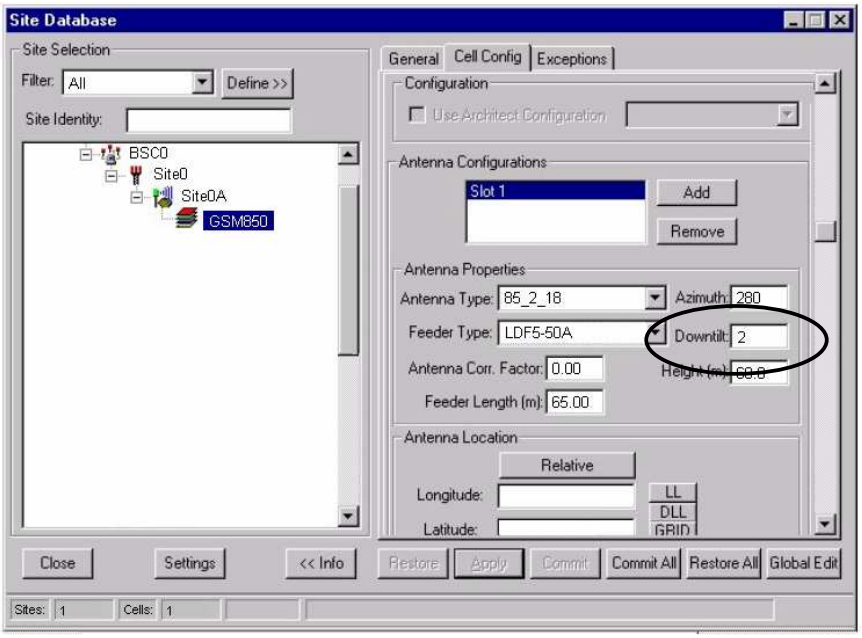


Figura 4.20 Variación de parámetros en ASSET 3G_Sector C

Con estos datos se hizo correr el programa para obtener el correspondiente *plot* de cobertura que se muestra en la figura 4.20, en el cual se observó que se logró evitar la interferencia al máximo

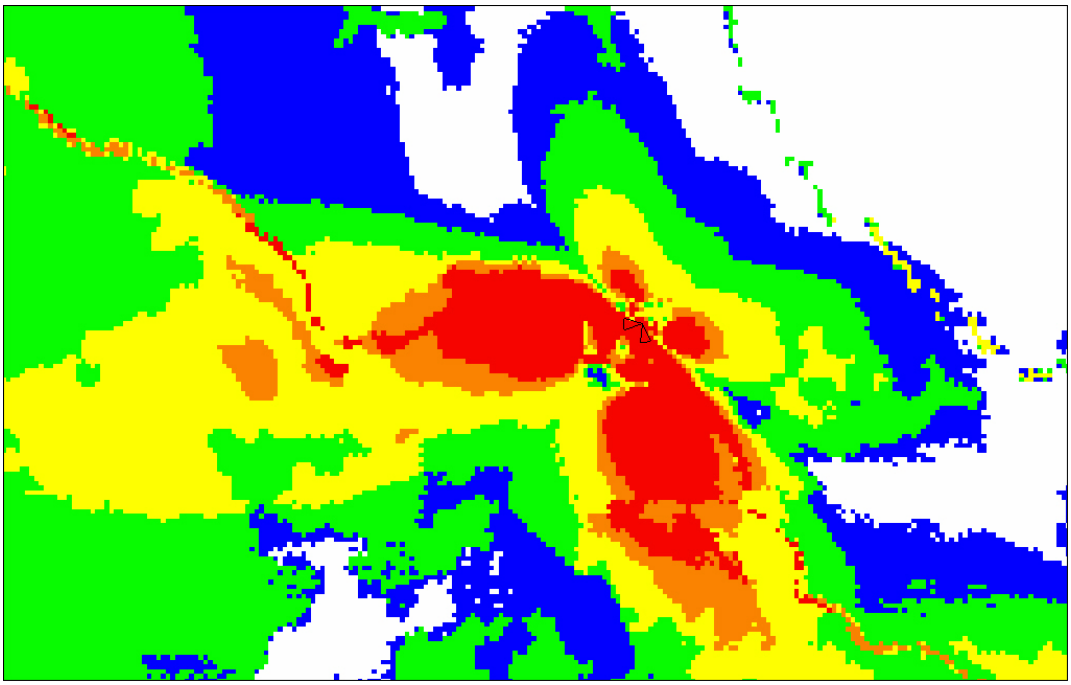


Figura 4.21 Cobertura final después de la alteración del *Tilt* de la Antena

Con todo esto los nuevos valores de *tilt* eléctrico quedan de la siguiente manera:

S_A; *Tilt* eléctrico = 2º

S_C; *Tilt* eléctrico = 2º

d) El objetivo de la solución se muestra en la fig. 4.21, en donde efectivamente se observa que el efecto logrado es mejorar la calidad de la señal en sitios circundantes a la celda actual y disminuir la interferencia en las zonas de la otra celda con semejantes BCCH, sin dejar de brindar similar cobertura a las poblaciones que también cubren en parte la celda interferente, lo cual cumple con el objetivo planificado.

Una vez que se ha conseguido la situación deseada, la antena a implementarse sería la que se muestra en la fig. 4.22

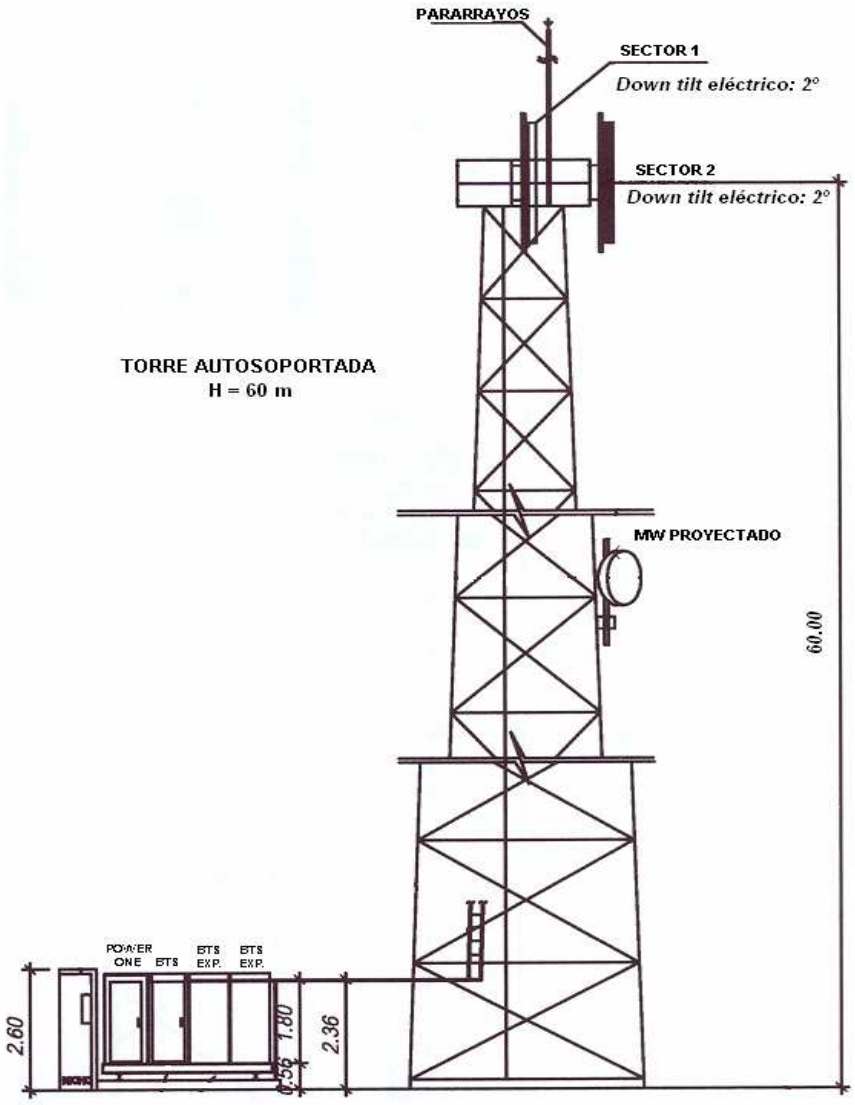


Figura 4.22 Estructura de la BTS a implementarse

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas afectadas originalmente, si se necesita optimizar más se variaran valores de *Tilt* eléctrico y/o *Tilt* mecánico adicionalmente.

4.3.5.2 Segundo caso

a) Para este ejemplo, se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: Se tiene una celda que brinda servicio a poblaciones suburbanas y rurales.

Datos Técnicos

- Número de sectores = 3
- S1; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 10º; *Tilt* mecánico = 0º
- S2; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 130º; *Tilt* mecánico = 0º
- S3; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 250º; *Tilt* mecánico = 0º
- Alturas de antenas: $h_1 = h_2 = h_3 = 90$m.

  Donde h es la altura de antena.
- *Cutres* a cubrir: suburbanos, rurales y carreteras.
- Otros datos:

  Se está trabajando en la banda de 850 MHz y existen varias estaciones con re-uso de frecuencia.

En la fig. 4.23 se puede ver la cobetura que tiene esta celda, así:

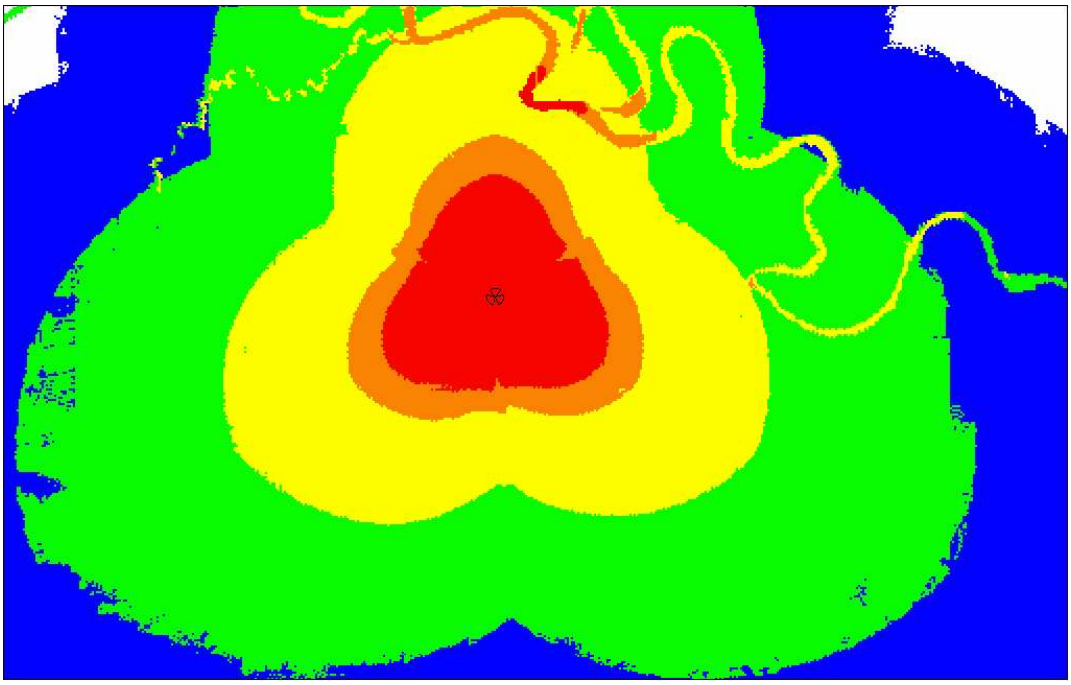


Figura 4.23 Cobertura inicial para el caso del ejemplo mencionado

b) El objetivo de la optimización de cobertura en este ejemplo consiste en:

Se asume que se debe mejorar la calidad de la señal en sitios lejanos a la celda actual, la cual tiene la misma frecuencia BCCH en uno de sus sectores, puesto que existe una interferencia en las zonas de la otra celda

semejante, pero sin dejar de brindar similar cobertura a las poblaciones en la mira de la celda interferente.

c) La solución que se propone es la siguiente:

Mediante la alteración del *Tilt* eléctrico o mecánico de las antenas, se lograría disminuir la interferencia con la otra celda de semejante BCCH, teniendo en cuenta de no comprometer la cobertura original de la celda, ya que variar el *Tilt* mecánico (*down tilt*) ensancha la cobertura en las partes laterales y se expande en sus partes traseras, lo contrario (*up tilt*) hace que la cobertura en lugares cercanos se comprometa pero en lugares lejanos mejore a pesar de que haya interferencias.

Por lo tanto, se disminuirá niveles de la señal de la celda original a nivel lejano, mediante la disminución del *Tilt* mecánico de las antenas de los 3 sectores.

Entonces, se disminuirán los *Tilt* mecánicos (*down tilt*) en 4º, 3º y 2º, respectivamente para los sectores 1, 2 y 3. Quedando sus valores en los 3 sectores así:

S1; *Tilt* eléctrico = 0º; *Tilt* mecánico = 4º, ya que es la zona mas afectada

S2; *Tilt* eléctrico = 0º; *Tilt* mecánico = 3º, para mejorar la calidad de señal en las cercanías.

S3; *Tilt* eléctrico = 1º; *Tilt* mecánico = 2º, ya que es una zona afectada en menor grado.

d) El resultado de la solución propuesta, se muestra en la fig. 4.24, en donde efectivamente se puede apreciar el efecto logrado al mejorar la calidad de la señal en sitios lejanos a la celda actual, sin dejar de brindar similar cobertura a las poblaciones en la mira de la celda interferente, cumpliendo con el objetivo planificado.

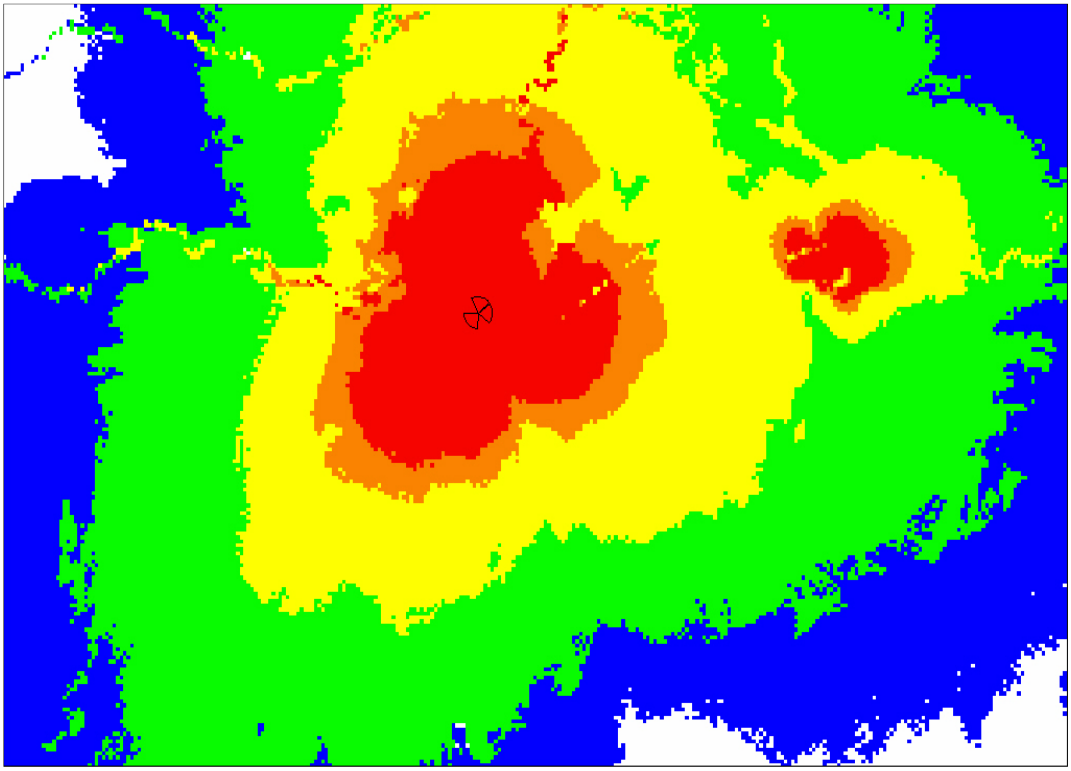


Figura 4.24 Cobertura final después de la alteración del *Tilt* de la Antena

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas afectadas originalmente, si se necesita optimizar más se variaran valores de *Tilt* eléctrico y/o *Tilt* mecánico adicionalmente o ambos a la vez.

4.3.5.3 Tercer caso

a) Para este ejemplo se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: Se tiene una celda que brinda servicio a poblaciones suburbanas y rurales.

Datos Técnicos

- Número de sectores = 3
- S1; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 350º, *Tilt* mecánico = 0º

- S2; *Tilt* eléctrico = 3º, *Azimuth* = 200º, *Tilt* mecánico = 1º
- S3; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 275º, *Tilt* mecánico = 0º
- Alturas de antenas: $h_1 = h_2 = h_3 = 48$m.
- *Cutters* a cubrir: suburbanos, rurales y carreteras.
- Otros datos:

  Se está trabajando en la banda de 850 MHz y existen varias estaciones con sobrelapamiento a la celda.

La fig. 4.25 muestra la cobertura que tiene la celda antes descrita, así:

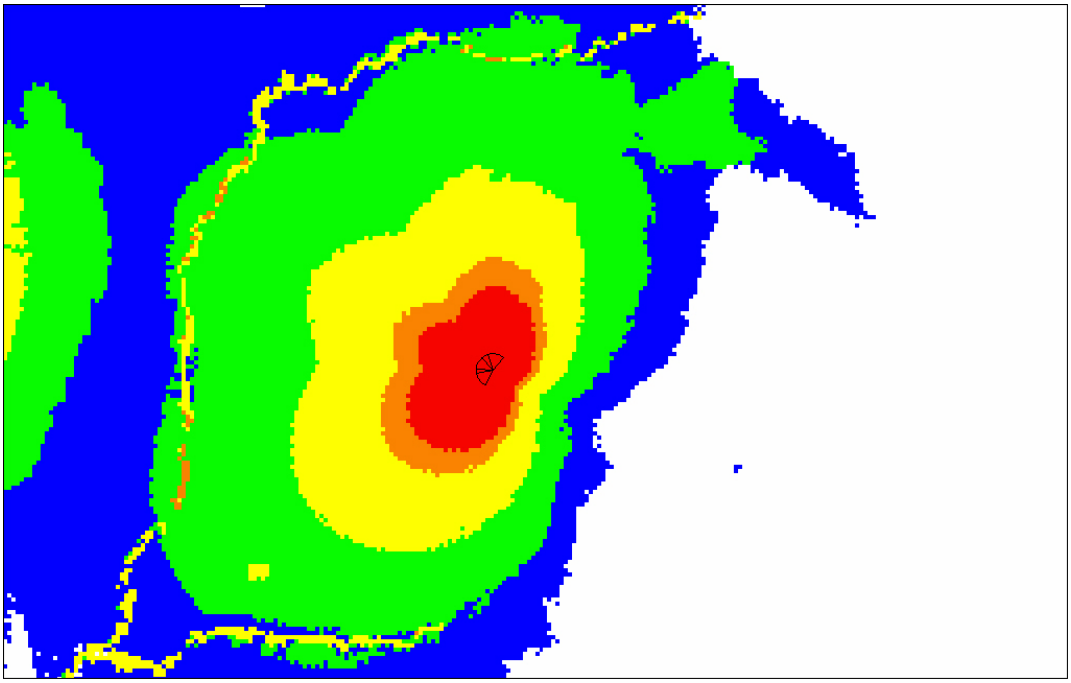


Figura 4.25 Cobertura inicial antes de la alteración del *Tilt* de la Antena

b) El objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo consiste en:

Se asume que es necesario cubrir tal área para mejorar la calidad de la señal en sitios lejanos a la celda actual y para mejorar la continuidad de su cobertura a lo largo de las carreteras; ya que existe un alto índice de caídas de llamadas, *handover* (transferencia) fallidos y bajos niveles entre la celda actual y las celdas vecinas sobrelapadas en puntos críticos como los bordes de cobertura.

c) La solución que se propone es la siguiente:

Mediante la alteración del *Tilt* mecánico de las antenas, se lograría disminuir la tasa de llamadas caídas, *handover* fallidos y los bajos niveles de señal en los puntos de sobrelapamiento crítico con las celdas vecinas, teniendo en cuenta que esto no cause interferencia con otra celda lejana y de similar canal BCCH en sus sectores.

Por lo tanto, se mejora los niveles de la señal de la celda original a nivel lejano ya que a nivel muy cercano son solo terrenos que no están muy poblados y en los puntos de sobrelapamiento de la red, mediante el aumento del *Tilt* mecánico (*up tilt*) de las antenas de los 3 sectores.

Entonces, se aumentarán los *Tilt* mecánicos (*up tilt*) en -4º, -3º y -2º, en el Sector 1, 2 y 3 respectivamente, quedando sus valores en los 3 sectores así:

S1; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 350º, *Tilt* mecánico = - 4º

S2; *Til"* eléctrico = 3º, *Azimuth* = 200º, *Tilt* mecánico = -2º

S3; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 275º, *Tilt* mecánico = -2º

d) El resultado de la solución propuesta, se muestra en la fig. 4.26, donde se observa efectivamente que se logró mejorar la continuidad de la cobertura a lo largo de las carreteras y se mejoró la calidad de la señal en esta zona, cumpliendo con el objetivo planificado.

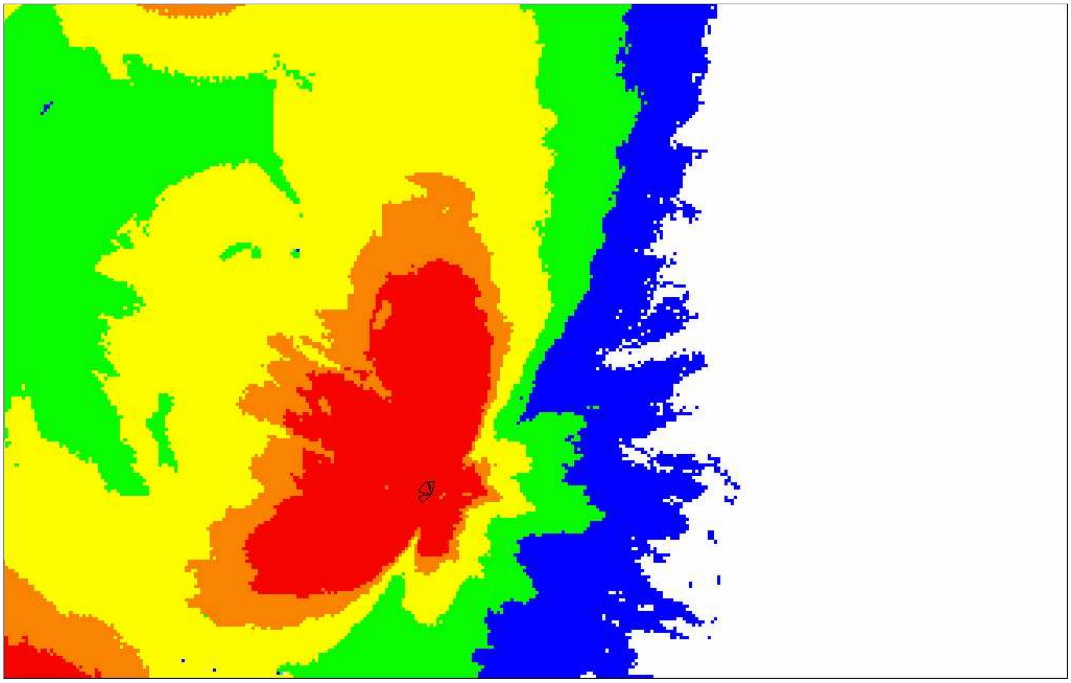


Figura 4.26 Cobertura final después de la alteración del *Tilt* de la Antena

Nótese que los lóbulos laterales tienden a ensancharse hacia atrás (provocando a veces interferencias con otras celdas de similar BCCH) y que la cobertura a distancia lejana logra mejorarse con este tipo de cambios.

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas afectadas originalmente, si se necesita optimizar más se variaran valores de *Tilt* eléctrico y/o *Tilt* mecánico adicionalmente.

4.3.5.4 Cuarto caso

a) Para este ejemplo se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: Se tiene una celda que brinda cobertura a carreteras y sitios *outdoor*

Datos Técnicos

- Número de sectores = 2
- S1; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 350º, *Tilt* mecánico = 0º
- S2; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 172º, *Tilt* mecánico = 0º;

- Alturas de antenas: $h_1 = h_2 = h_3 = 60m$.
  Donde h es la altura de la antena.
- “Cutres” a cubrir: rurales y carreteras
- Otros datos:

Hay poblaciones circundantes alrededor de la celda, y así mismo hay varias estaciones con re-uso de frecuencia y se está trabajando en la banda de 850 MHz.

La fig. 4.27 muestra la cobertura que tiene la celda con las características antes mencionadas, así:

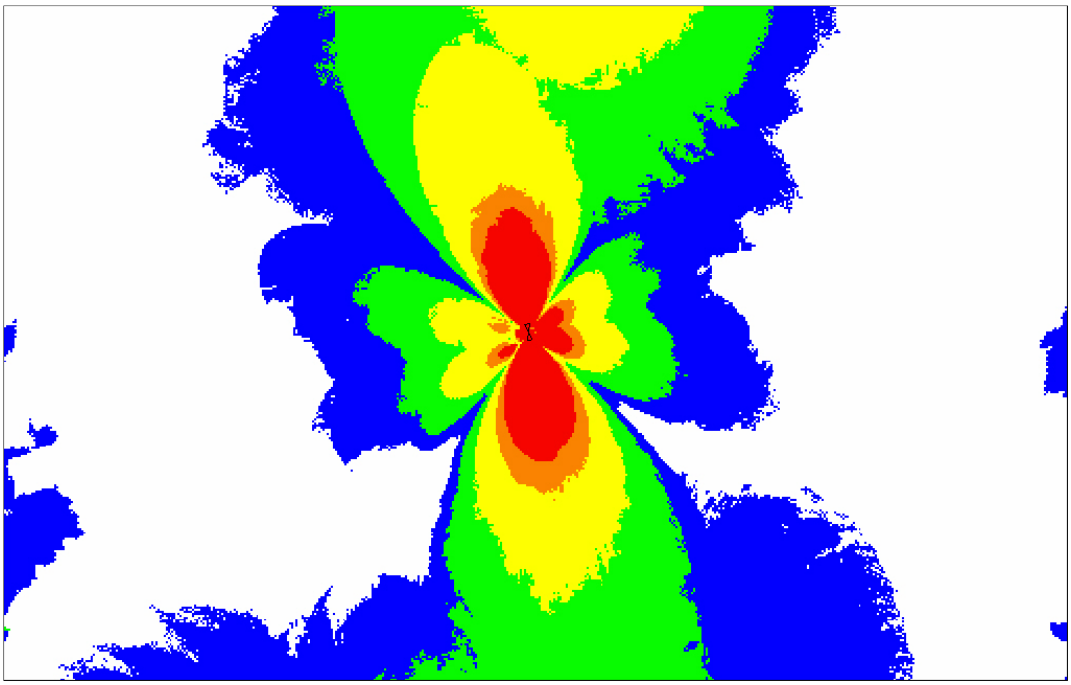


Figura 4.27 Cobertura inicial antes de la alteración del *Azimuth* de la Antena

b) El objetivo de la optimización de cobertura en este ejemplo, consiste en:
Se asume que es necesario mejorar la calidad de la señal y brindar cobertura debido a la demanda existente en sitios cercanos y circundantes a la celda actual.

c) La solución que se propone es manipular las antenas de la siguiente manera:

Mediante la alteración del *azimuth* de las antenas, se lograría brindar la cobertura esperada a las poblaciones adyacentes a los carreteros en las cuales la celda cubría levemente.

Entonces, se cambian los *azimuth* en 15º a la derecha en el sector 1 y 20º también hacia la derecha en el sector 2, quedando sus valores en los 2 sectores así:

S1; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 5º, *Tilt* mecánico = 0º

S2; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 200º, *Tilt* mecánico = 0º

d) El resultado de la solución propuesta, se muestra en la fig. 4.28, en donde efectivamente se ve que logró mejorar la calidad de la señal y brindar cobertura en los sitios cercanos y circundantes a la celda que se tenía.

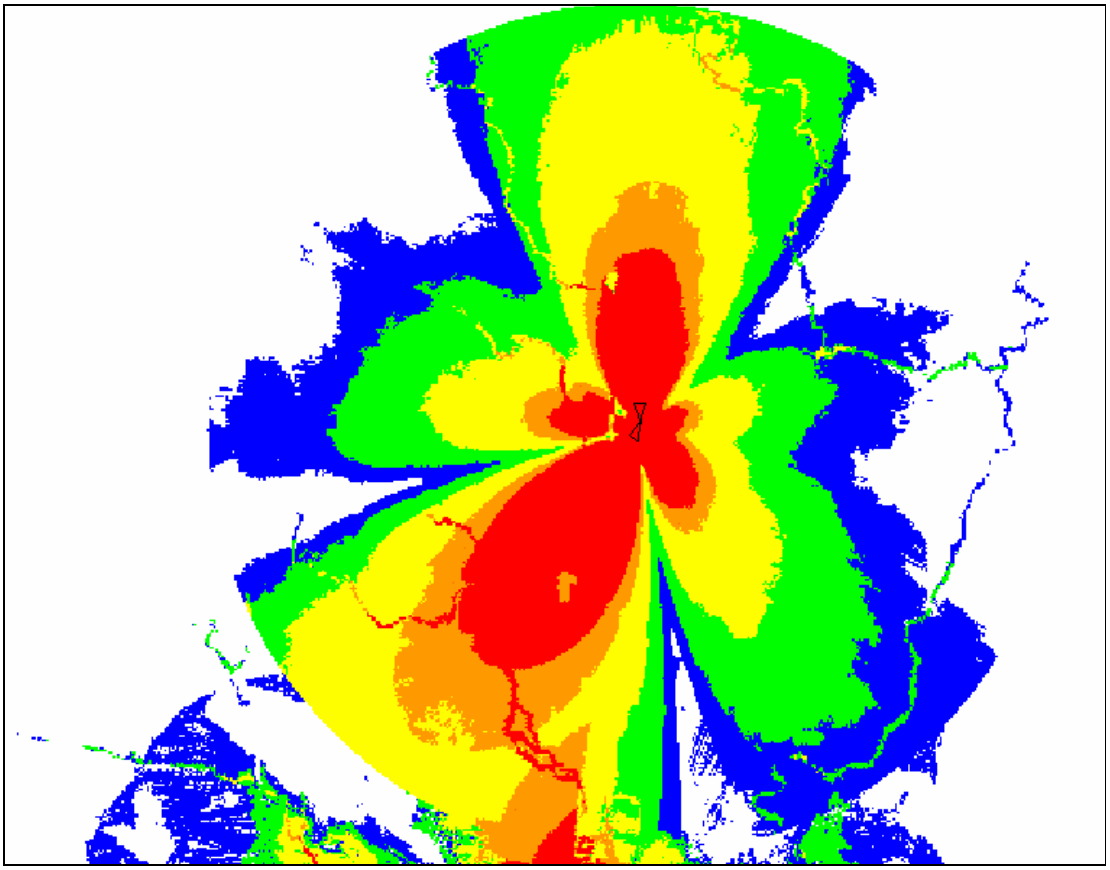


Figura 4.28 Cobertura final después de la alteración del *Azimuth* de la Antena

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas afectadas originalmente, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth* adicionalmente.

4.3.5.5 Quinto caso

a) Para este ejemplo se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: Se tiene una celda que brinda servicio de cobertura a sitios suburbanos, rurales y carreteras

Datos Técnicos

- Número de sectores = 3
- S1; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 50º, *Tilt* mecánico = 0º
- S2; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 185º, *Tilt* mecánico = 0º
- S3; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 250º, *Tilt* mecánico = 0º
- Alturas de antenas: $h_1 = h_2 = h_3 = 60$m.
  Donde h es la altura de la antena.
- “Cutres” a cubrir: rurales y carreteras
- Otros datos:

Hay poblaciones circundantes alrededor de la celda, y así mismo hay varias estaciones con re-uso de frecuencia y se está trabajando en la banda de 850 MHz.

La fig. 4.29 muestra la cobertura que tiene la celda con las características antes mencionadas, así:

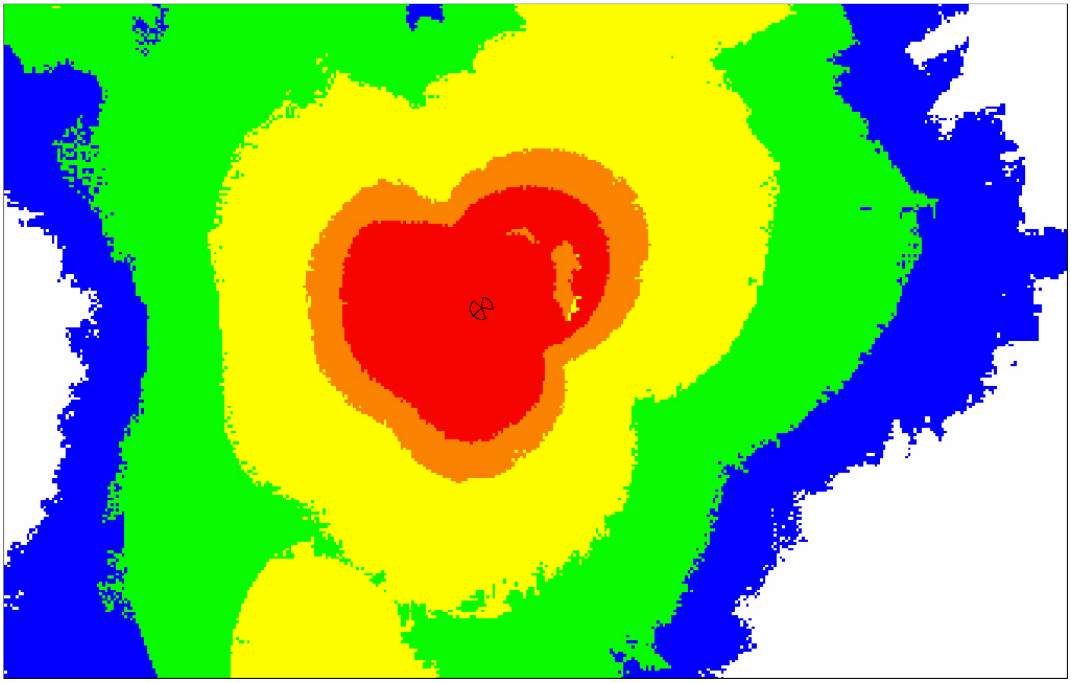


Figura 4.29 Cobertura inicial antes de la alteración del *Azimuth* de la Antena

b) El objetivo de la optimización de la cobertura en este ejemplo, consiste en: Se asume que surge la necesidad de mejorar la calidad de la señal y la cobertura en el lado sureste y el lado este de la celda actual, puesto que es deficiente en este sector.

c) La solución que se propone es la siguiente:
Mediante la alteración del *azimuth* de las antenas, se lograría brindar la cobertura esperada a las poblaciones adyacentes que se encuentra en la parte este y sureste de la celda, es decir, alterando los *azimuths* correspondientes a los sectores 3 y 2 respectivamente.

Entonces, se cambian los *azimuth* en 10º a la derecha en el sector 3 y 30º a la derecha en el sector 2, quedando sus valores en los 2 sectores así:
S2; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 155º, *Tilt* mecánico = 0º
S3; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 260º, *Tilt* mecánico = 0º

El resultado de la solución planteada se muestra en la fig. 4.30, en donde se puede apreciar que se pudo mejorar la calidad de la señal y la cobertura en el lado sureste y el lado este de la celda, cumpliendo con el objetivo planificado.

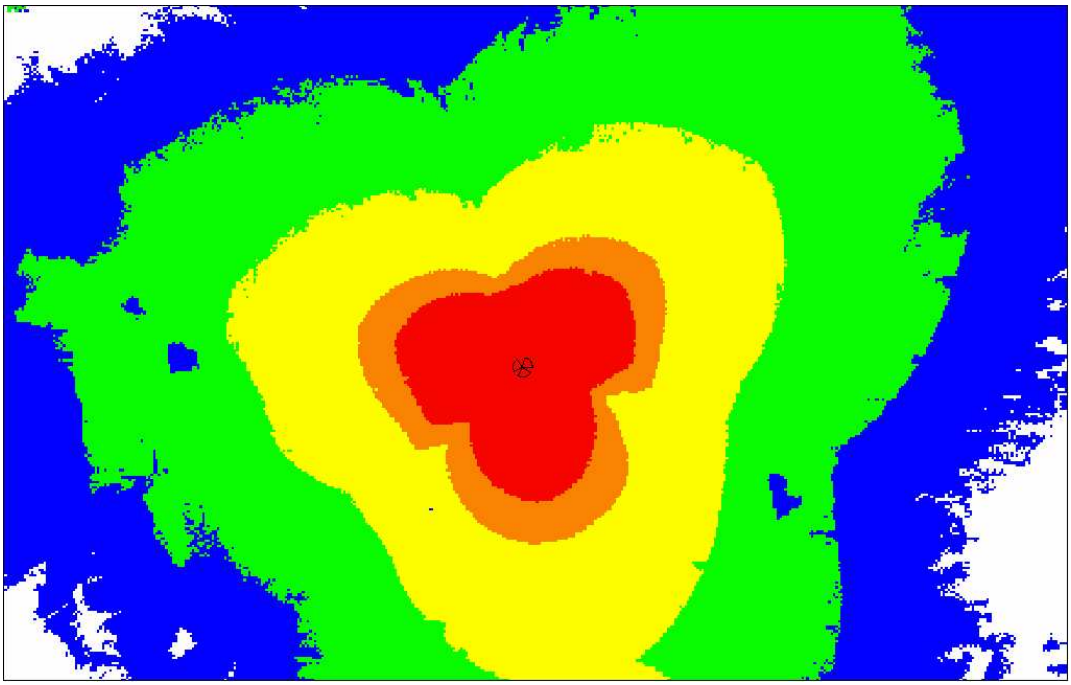


Figura 4.30 Cobertura final después de la alteración del *Azimuth* de la Antena

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas afectadas originalmente, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuths* adicionalmente.

4.3.5.6 Sexto caso

a) Para este ejemplo se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: Se tiene una celda que brinda servicio de cobertura a sitios suburbanos, rurales y carreteras

Datos Técnicos

- Número de sectores = 3
- S1; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 0º, *Tilt* mecánico = 0º
- S2; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 130º, *Tilt* mecánico = 0º

- S3; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 240º, *Tilt* mecánico = 0º
- Alturas de antenas: $h_1 = h_2 = 60$m.

  $h_3 = 52$m.

  Donde h es la altura de la antena.
- Cutters a cubrir: rurales y carreteras
- Otros datos:

  Hay poblaciones circundantes alrededor de la celda y se está trabajando en la banda de 850 MHz.

La fig. 4.31 muestra la cobertura que tiene la celda con las características antes mencionadas, así:

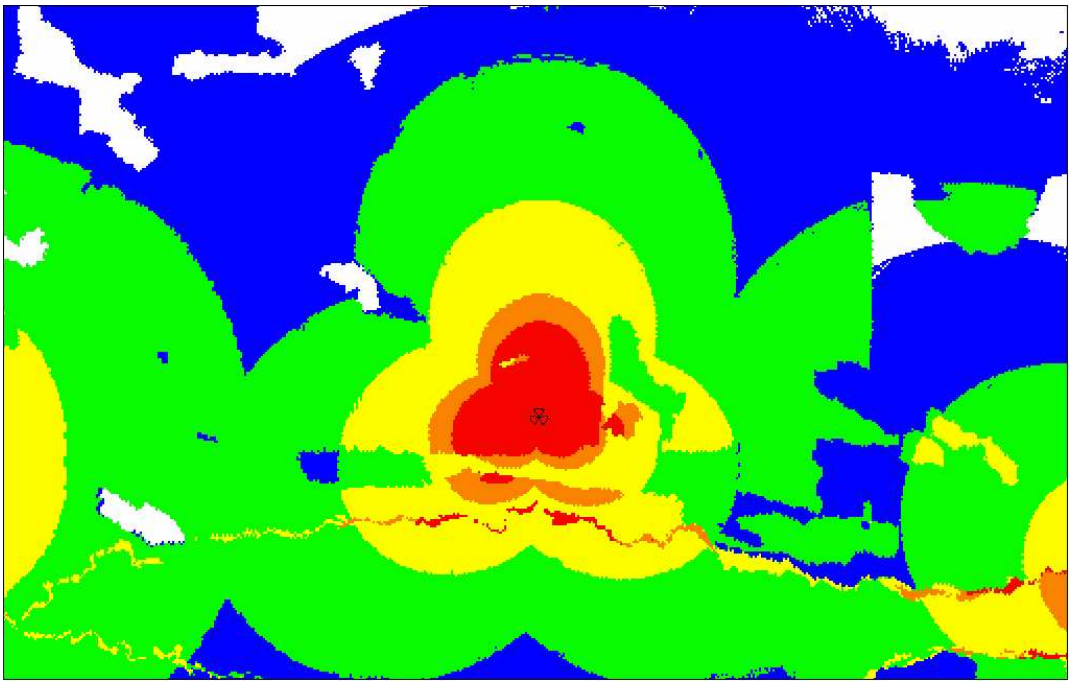


Figura 4.31 Cobertura inicial antes de la alteración de la Altura de las Antenas

b) El objetivo de optimización de cobertura para este ejemplo consiste en:

Se asume que se debe mejorar la calidad de la señal y la cobertura en todos los alrededores de la celda actual en las que se incluyen poblaciones y además mejorar la continuidad de cobertura entre las celdas vecinas.

c) La solución que se propone es manipular las antenas de la siguiente manera:

Mediante la alteración de las alturas de las antenas, se lograría brindar la cobertura esperada a las poblaciones adyacentes que se encuentran en los alrededores de la celda.

Entonces, se cambian las alturas de las antenas, quedando sus valores en los 3 sectores así:

S1; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 0º, *Tilt* mecánico = 0º; Altura de la antena=78m

S2; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 130º, *Tilt* mecánico = 0º; Altura de la antena=78m

S3; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 240º, *Tilt* mecánico = 0º; Altura de la antena=70m

d) El resultado de la solución propuesta se muestra en la fig. 4.32, en dónde efectivamente se ve que se logró mejorar la continuidad de cobertura entre las celdas vecinas y también la calidad de la señal, lo cual cumple con el objetivo planificado.

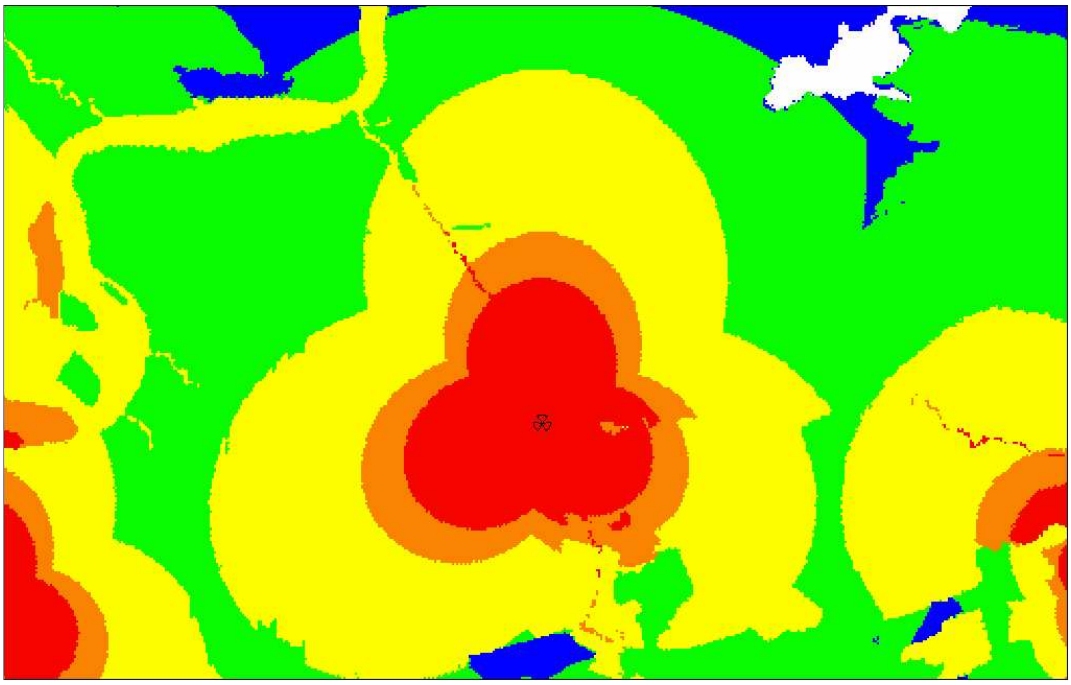


Figura 4.32 Cobertura final después de la alteración de la Altura de las Antenas

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas afectadas originalmente, si se necesita optimizar más se variaran valores de *Tilt* electrico, mecanico o *azimuths* adicionalmente.

Nótese que el cambio de altura de antenas, incluye costos adicionales altos por cambios en las dimensiones de materiales del sistema radiante, corte del servicio y otros.

4.3.5.7 Séptimo caso

a) Para este ejemplo se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: Se tiene una celda que brinda servicio de cobertura a sitios suburbanos, rurales y carreteras

Datos Técnicos

- Número de sectores = 2
- S2; *Tilt* eléctrico = 0º fija, *Azimuth* = 160º, *Tilt* mecánico = 0
- S3; *Tilt* eléctrico = 0º fija, *Azimuth* = 265º, *Tilt* mecánico = 0
- Alturas de antenas: $h_2 = h_3 = 72$m.
  Donde h es la altura de la antena.
- Lóbulo de antenas = 30º
- “Cutres” a cubrir: rurales y carreteras
- Otros datos:

  Hay poblaciones circundantes alrededor de la celda y se está trabajando en la banda de 850 MHz.

La fig. 4.33 muestra la cobertura que tiene la celda con las características antes mencionadas, así:

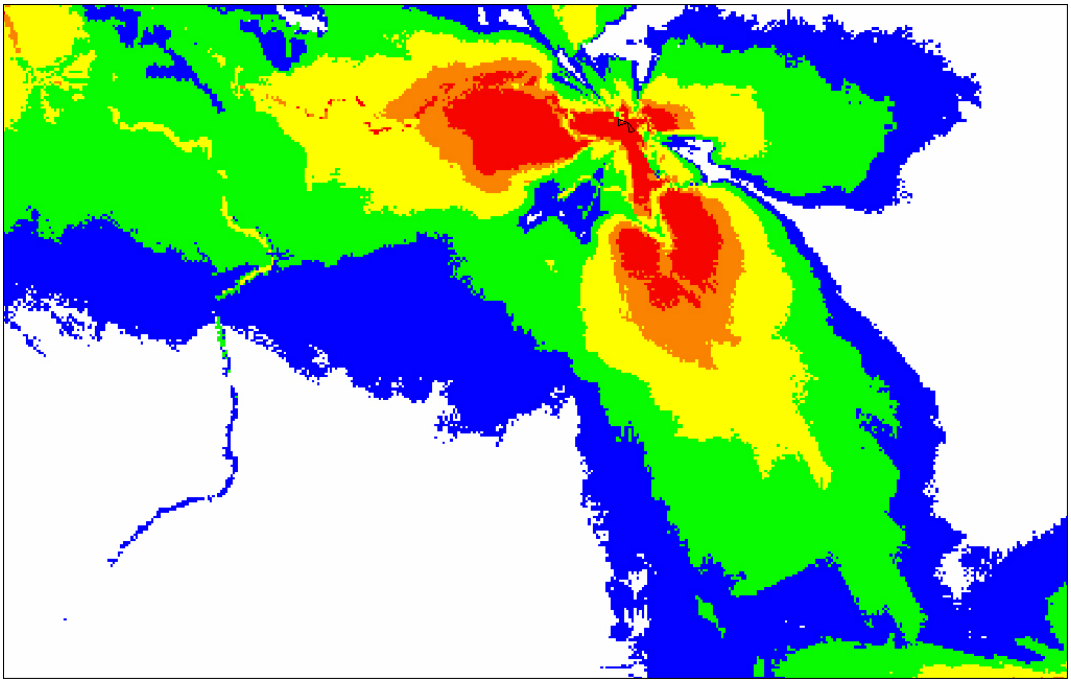


Figura 4.33 Cobertura inicial antes de la alteración de la Altura de las Antenas

b) El objetivo de la optimización de la cobertura en este ejemplo, consiste en: Se asume que es necesario disminuir la cobertura de la celda, debido a que causa interferencia con otra celda adyacente en los 2 sectores de la misma, es decir, se quiere mejorar la calidad de la señal en la celda interferida.

c) La solución que se propone es manipular las antenas de la siguiente manera:

Se cambian las alturas de las antenas, quedando sus valores en los 2 sectores así:

S2; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 160º, *Tilt* mecánico = 0º; Altura de la antena=60m

S3; *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 265º, *Tilt* mecánico = 0º; Altura de la antena=60m

d) El resultado de la solución propuesta se muestra en la fig. 4.34, en donde efectivamente se observa el efecto logrado (mediante simulación en ASSET), verificando el objetivo planteado anteriormente.

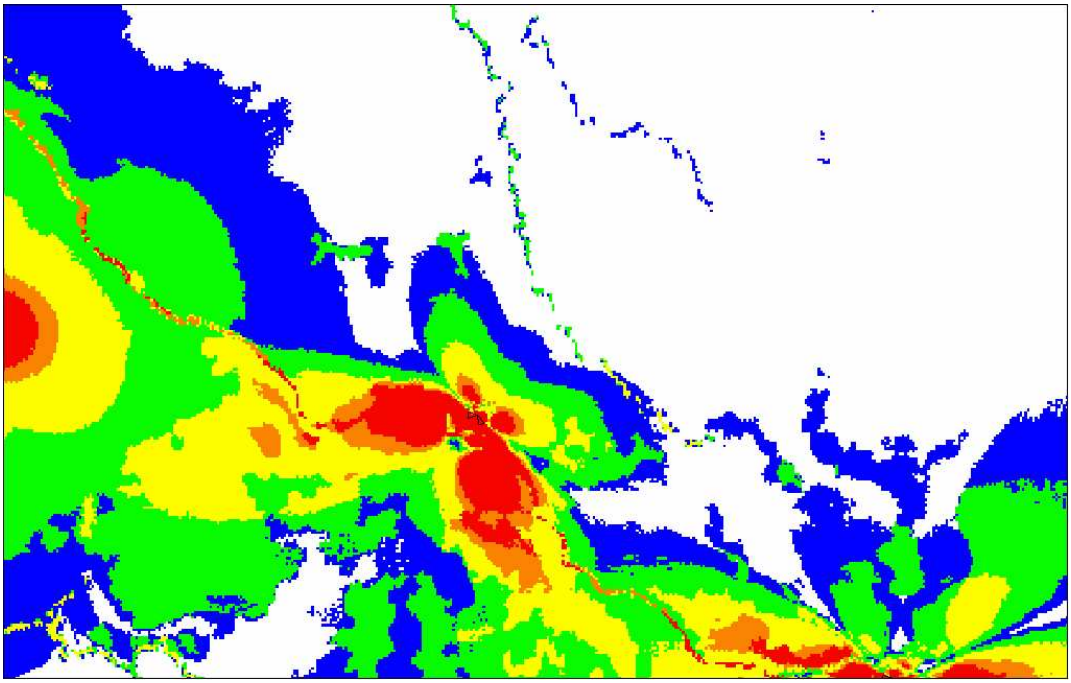


Figura 4.34 Cobertura final después de la alteración de la Altura de las Antenas

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas afectadas originalmente, si se necesita optimizar más se variaran valores de *Tilt* mecánico adicionalmente, ya que el *Tilt* eléctrico no puede cambiarse por ser esta fija en los 2 sectores.

Nótese que el cambio de altura de antenas, incluye costos adicionales altos por cambios en las dimensiones de materiales del sistema radiante, corte del servicio y otros.

Cabe anotar que en este ejemplo no se empezó variando los *Tilts* mecánicos debido a que la reducción de cobertura es considerada para las zonas interferidas por la celda.

4.3.5.8 Octavo caso

a) Para este ejemplo se asumen los siguientes datos:

Descripción de la zona: Se tiene una celda que brinda servicio de cobertura a carreteros y sitios *outdoor*.

Datos Técnicos

- Número de sectores = 2
- S1; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 350º, *Tilt* mecánico = 0º
- S2; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 172º, *Tilt* mecánico = 0º
- Alturas de las antenas: $h_1 = h_2 = 60$m.
  Donde h es la altura de la antena
- Lóbulo horizontal de las antenas = 30º
- “Cutres” a cubrir: rurales y carreteras
- Otros datos:

Hay poblaciones circundantes alrededor de la celda y se está trabajando en la banda de 850 MHz.

La fig. 4.35 muestra la cobertura que tiene la celda con las características antes mencionadas.

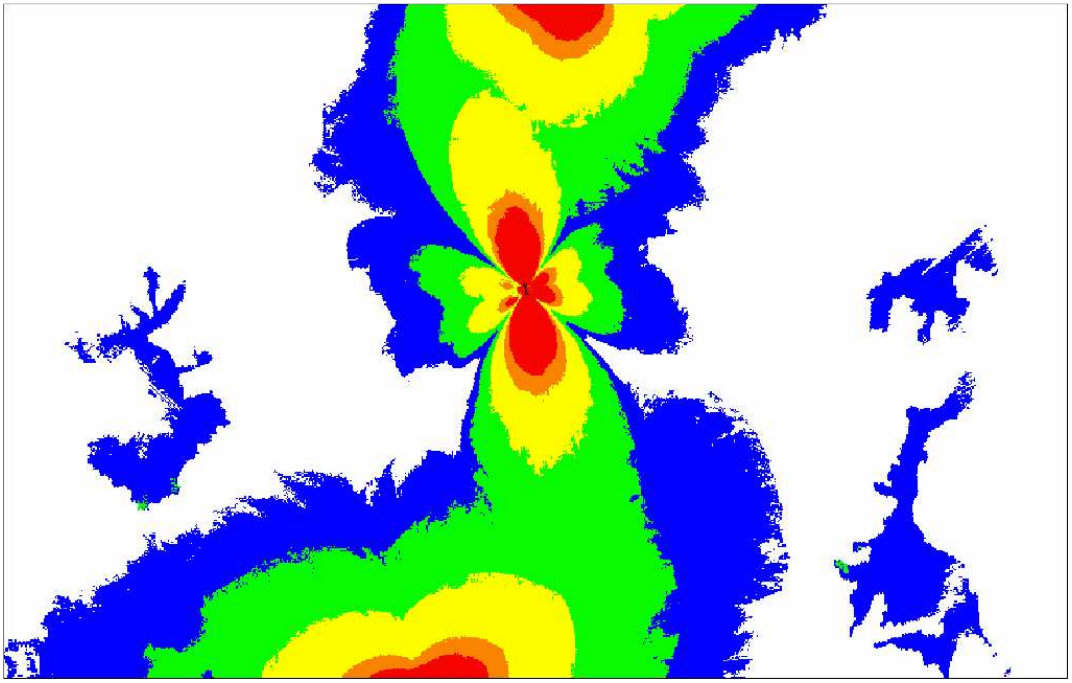


Figura 4.35 Cobertura inicial antes de la alteración del Tipo de Antenas

b) El objetivo de la optimización de cobertura en este ejemplo, consiste en:

Se asume que es necesario mejorar la calidad de la señal y brindar cobertura debido a la demanda existente en sitios cercanos y circundantes a la celda actual.

c) La solución que se propone es manipular las antenas de la siguiente manera:

Mediante la alteración del tipo de las antenas, es decir, con otro tipo de apertura de lóbulo horizontal, en este caso más ancho (60º, 90º, etc.) se lograría brindar la cobertura esperada a las poblaciones adyacentes a los carreteros en las cuales la celda no cubre originalmente.

Adicionalmente se aumenta un sector más para lograr objetivos de cobertura en las poblaciones adyacentes de toda la celda en sus sectores.

Entonces, se cambia de antenas de 30º de apertura a antenas de 60º para poblaciones suburbanas y rurales, se aumenta un sector para dar mayor cobertura y además se reordenan los *azimuth* de los 3 sectores, los valores en los 3 sectores quedarán así:

S1; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 0º, *Tilt* mecánico = 0º; Apertura lóbulo horizontal antena = 60º

S2; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 110º, *Tilt* mecánico = 0º; Apertura lóbulo horizontal antena = 60º

S3; *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 240º, *Tilt* mecánico = 0º; Apertura lóbulo horizontal antena = 60º

d) El resultado de la solución propuesta se muestra en la fig. 4.36, en donde se puede observar que se ha logrado cubrir no solo carreteros y zonas rurales, sino también poblaciones suburbanas circundantes de la celda, cumpliendo de esta manera con el objetivo planificado.

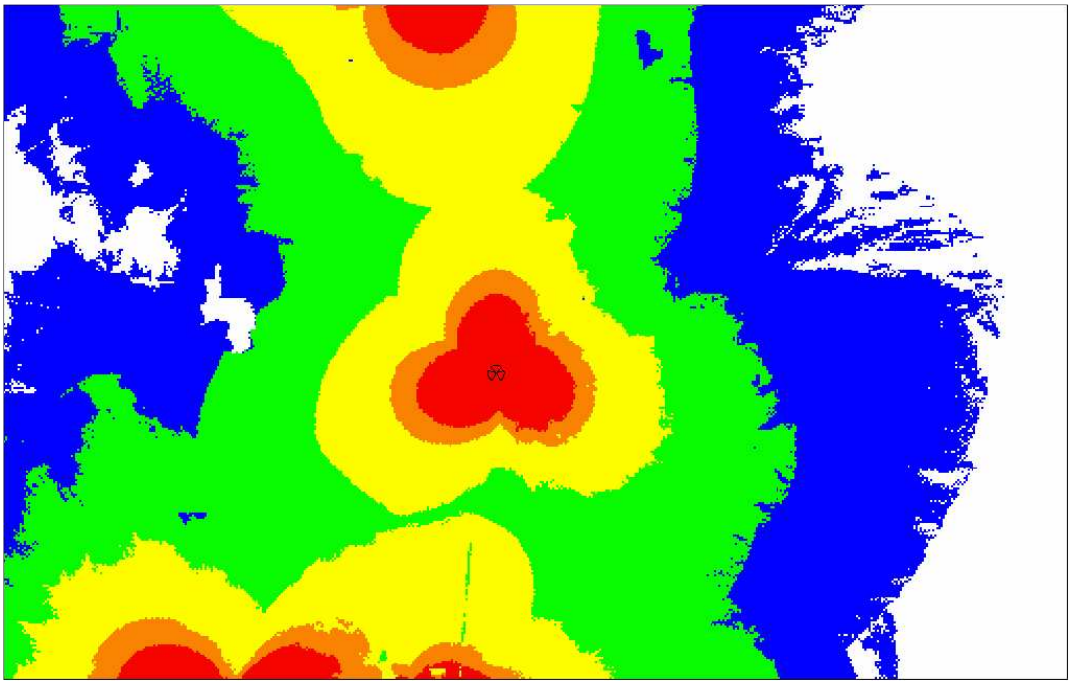


Figura 4.36 Cobertura final después de la alteración del Tipo de Antenas

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas afectadas originalmente, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth* adicionalmente.

Nótese que el cambio de tipo de antenas, incluye costos adicionales altos por antenas de mayor lóbulo de radiación.

4.3.6 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO O *DRIVE TEST*

De acuerdo a lo que se explicó en el capítulo 3 para este método, en la fig. 4.37 se muestra el proceso a seguir antes, durante y después de la fase de *Drive Tests*.

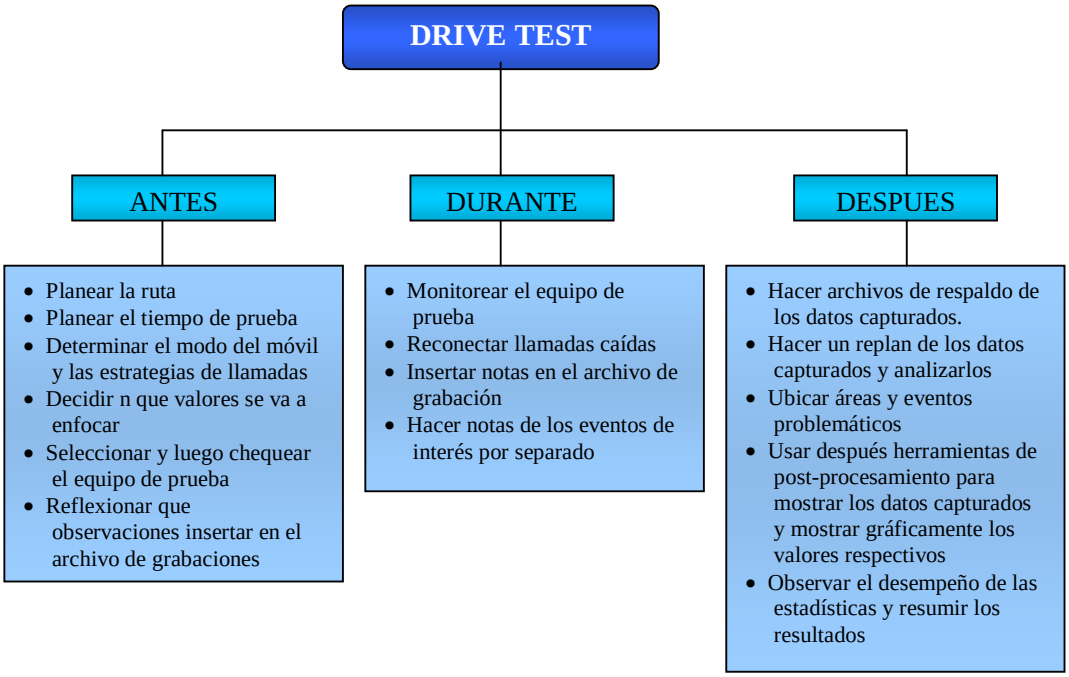


Figura 4.37 Proceso de *DRIVE TEST*

Entre los pasos que se deben realizar para un *drive tests*, a continuación se mencionan los principales:

- **Definición y diseño de las rutas de *drive tests***, que se lo hará en base a mapas viales de las zonas relacionadas, reconocimiento físico en cuanto a vías de una sola dirección o doble dirección, puentes viales, accesibilidad, disponibilidad, etc.
- **Trazo de las rutas,** Fig. 4.38 **(** línea de color violeta**)** mediante softwares relacionados por ejemplo Mapinfo (características de este software en el

anexo C), relacionando con los archivos de celdas (celdas sectoriales) y archivos de vías principales y secundarias (color negro y color gris)

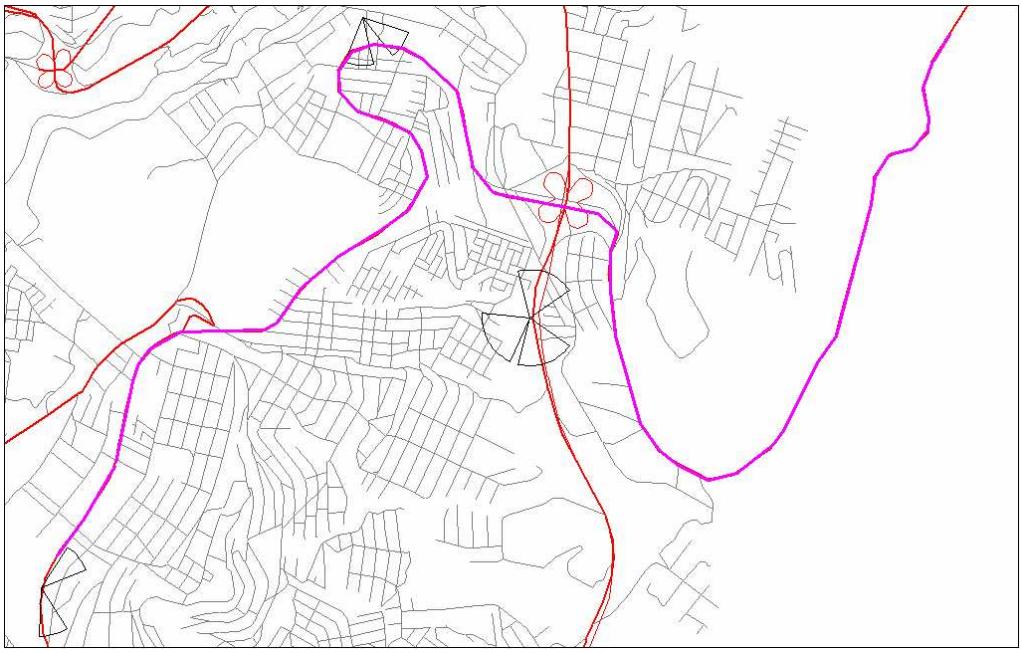


Figura 4.38 Rutas_*Drive Test*_MapInfo_1

Tener un equipo especial y moderno para la realización del mismo, para esto se debe realizar lo siguiente:

- Instalación del equipo de forma adecuada y revisión del vehículo a usarse.
- Revisión del software a usarse y relacionar con el archivo de rutas trazadas.
- Configuración de los equipos en hardware y software.
- Configuración de llamadas cortas, largas y de datos.
- Dentro del software a usarse por ejemplo *SEVEN.FIVE* se tiene lo siguiente:

Tal como lo muestra la fig. 4.39, al realizar el *drive tests* se trazan las rutas seguidas con esquemas de colores y de acuerdo al parámetro a observar, en este caso el parámetro observado es RXLEV del “scanner” de frecuencias del equipo relacionado a la portadora BCCH, en el móvil # 2.

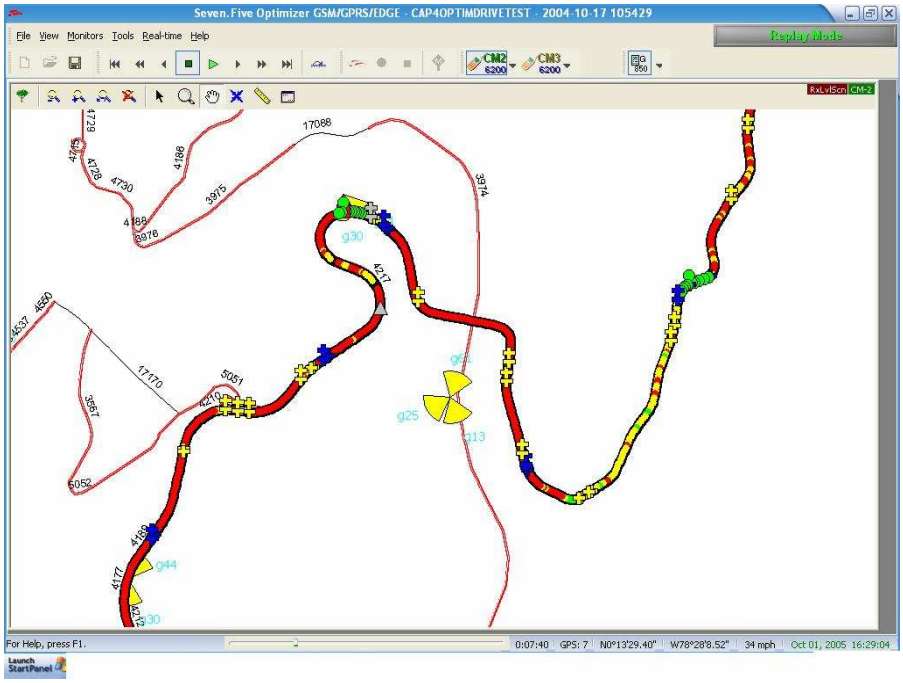


Figura 4.39 LOG_*DRIVE TEST*_SEVENFIVE_1

También se observan símbolos diferentes que nos indican los eventos de las llamadas que se están haciendo como son: accesos fallidos, *handover* fallidos, llamadas caídas, llamadas completadas, FER, *handover* completados, etc, como se muestra en fig. 4.40

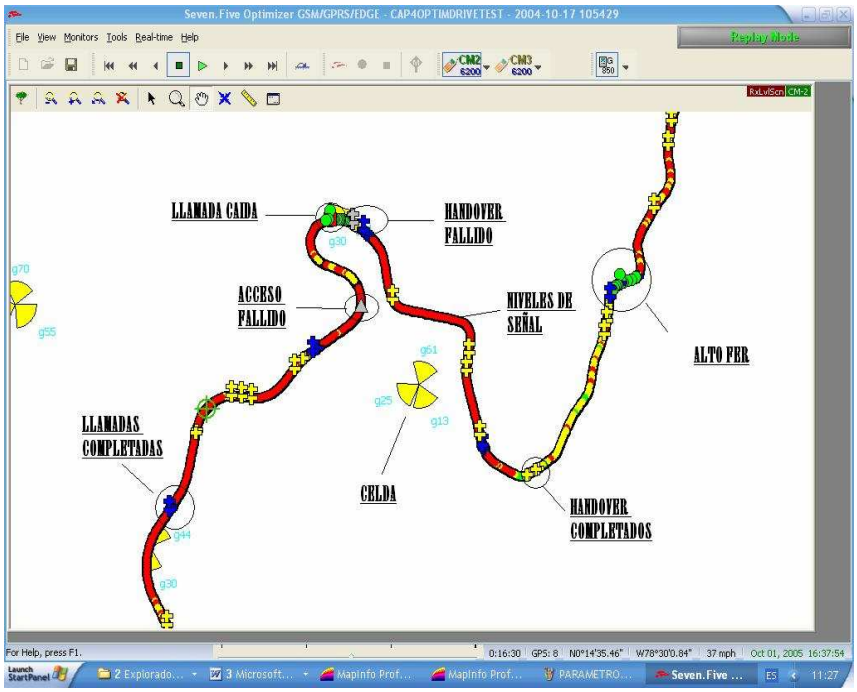


Figura 4.40 EVENTOS Y SIMBOLOS_*DRIVE TEST*_SEVENFIVE_1

También se pueden visualizar por ventanas, parámetros gráficos como niveles de recepción a tiempo real, tanto de la celda servidora como de las adyacentes; BSIC, numero de canal, tipo de canal, índice de FER, RXQUAL, número de *time slot*, contador RLT, potencia de salida, LAC, MNC, CODEC, etc, como se muestra en la fig. 4.41

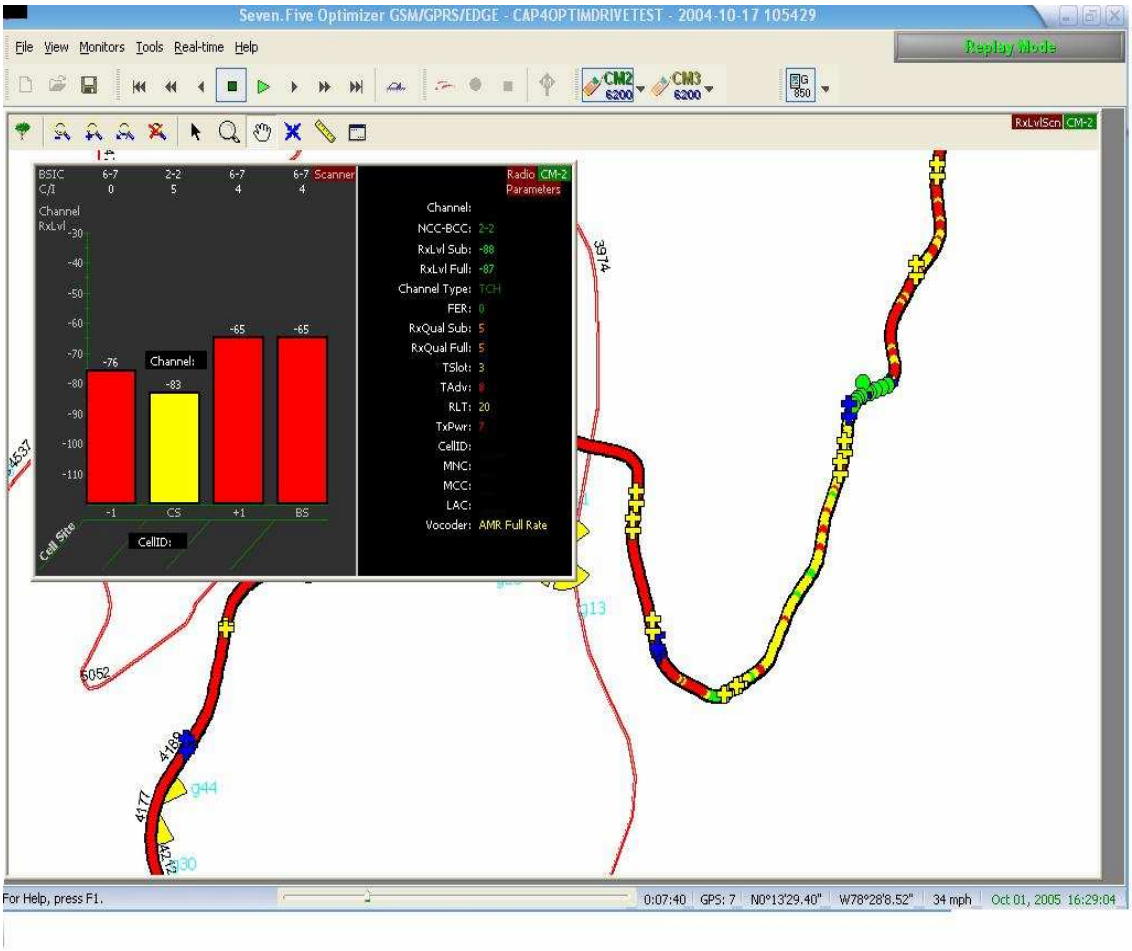


Figura 4.41 PARAMETROS_*DRIVE TEST*_SEVENFIVE_1

Además se pueden visualizar medidas de C/I, celdas vecinas presentes, escaneo de canales en rango determinado, ventanas de monitoreo de canales *hopping*, vecinos, calidad de señal, protocolos de señalización, mensajes de capa 2 y 3, etc., tal como se muestra en la fig. 4.42

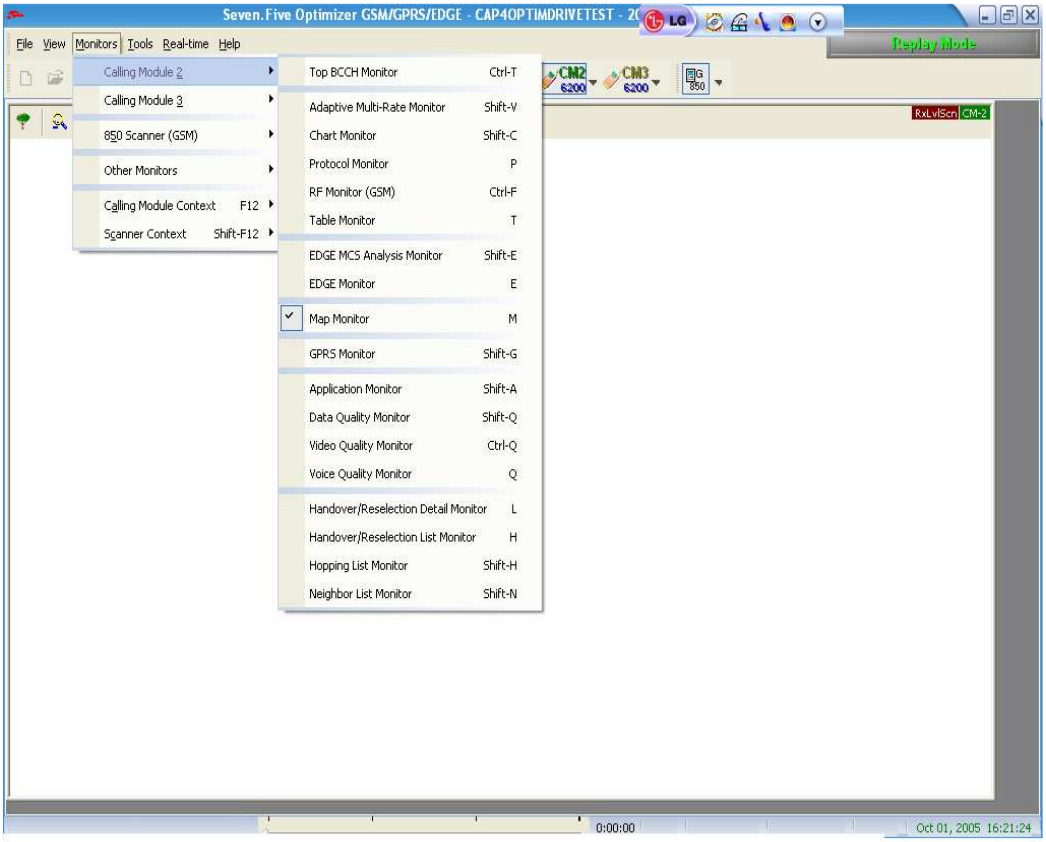


Figura 4.42 Opciones de Visualización de menús

También como lo muestra la gráfica 4.43, se pueden configurar las llamadas y las ventanas de tiempo como pausas, *idles* (desconectado), tiempo de marcado, numero de intentos, tiempo aire.

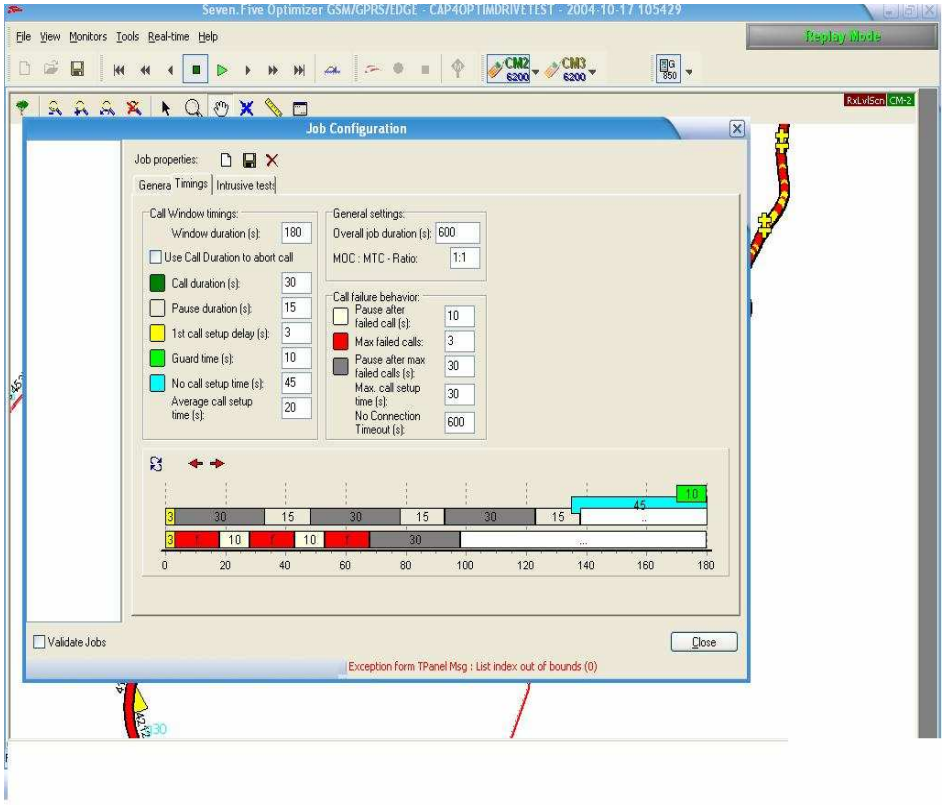


Figura 4.43 Configuración del *job* para el móvil del *Drive Test* a realizar

Dentro del proceso de *drive tests*, se debe tener en cuenta la dirección del recorrido a llevarse y la posición del curso en tiempo real en la pantalla, lo que después se hará es pre-analizar eventos, anotar las observaciones de estos y consecuentemente dar un pre-diagnóstico de la situación y comportamiento de las llamadas en el recorrido, como se muestra en la fig. 4.44.

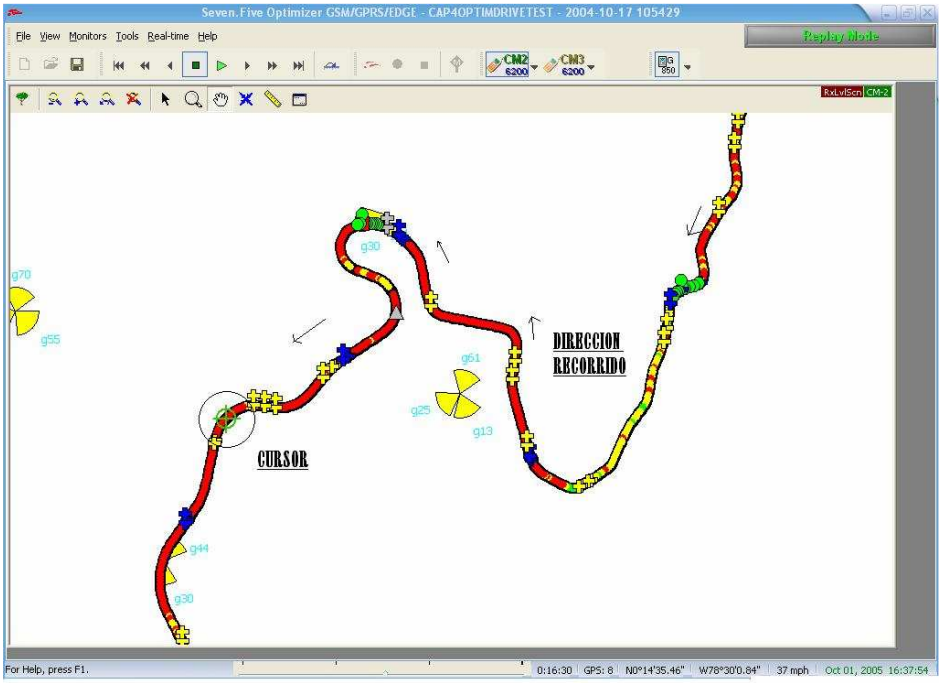


Figura 4.44 REPLAY_*DRIVE TEST*_SEVENFIVE_1

Se tendrán en cuenta los esquemas de colores para cada parámetro como son:

- Nivel de recepción,
- FER,
- RXQUAL,
- etc.

En este programa se puede *setear* los colores para los diferentes niveles de señal, como se puede observar en la figura 4.45.

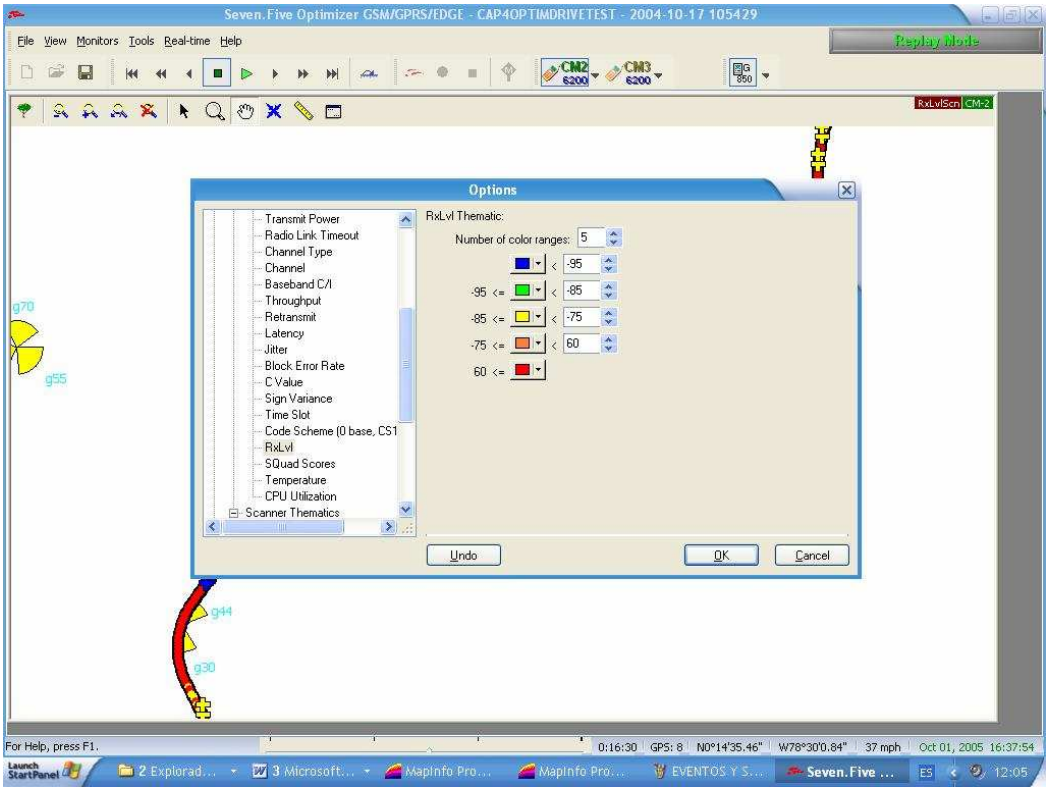


Figura 4.45 TEMATICS_*DRIVE TEST*_SEVENFIVE_1

Y en sí, las rutas a diseñarse, seguirse y analizarse pueden ser muy detalladas, pero factibles de realizar en un determinado tiempo objetivo y en zonas claves de análisis posterior, lo cual se puede observar en la fig.4.46.

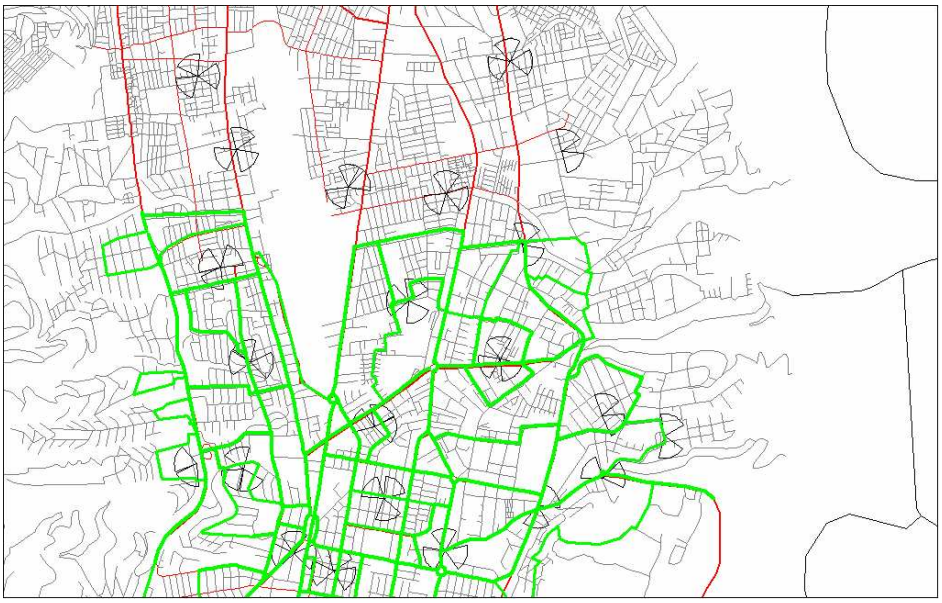


Figura 4.46 RUTAS_*DRIVE TEST*_MAPINFO_2

Se realiza el mismo análisis con la herramienta **TEMS** Investigation (características de este software en el anexo C):

Sew tiene en una misma pantalla, ventanas indicadoras de parámetros como canales BCCH (*Broadcast Common Control Channels*), BSIC (*Base Statin Identity Code*), niveles de recepción, parámetros de los canales como son: nombres de la celda, CGI (*Cell Global Identity*), Banda, canal ARFCN (*Assigned Radio Frequency Channel Number*), BSIC, modo de canal, tipo de canal, tipo de codec, eventos *hopping*.

Además otras ventanas que señalan los parámetros de FER (*Frame Error Rate*), BER (*Bit Error Rate*), C/I (Relación Canal Interferencia), DTX (Discontinuidad de transmisión), *Timing Advance* (ritmo de avance), RXQUAL (Calidad de recepción). Como se puede ver en la fig. 4.47.

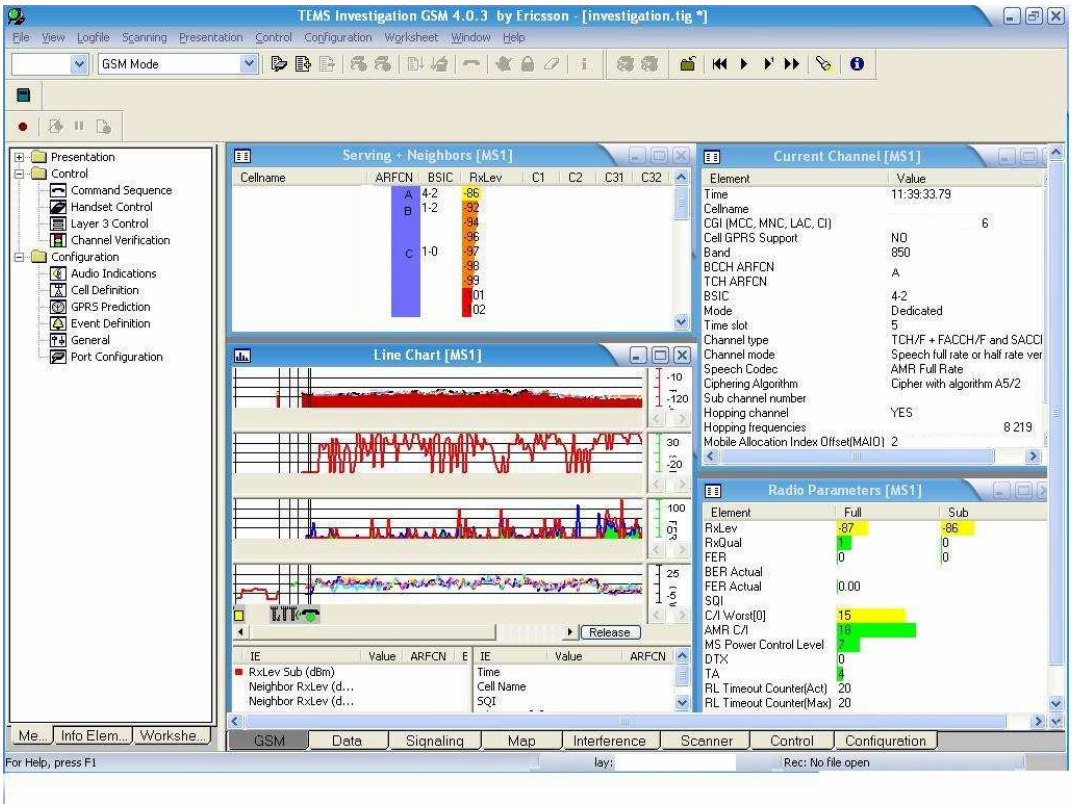


Figura 4.47 LOG_*DRIVE TEST*_TEMS_1

Además hay otras pantallas en las que se visualizan los parámetros de señalización como protocolos, mensajes de capas, reportes en *uplink*, *downlink* y del móvil o BSC, o BTS, tal como se muestra en la fig. 4.48.

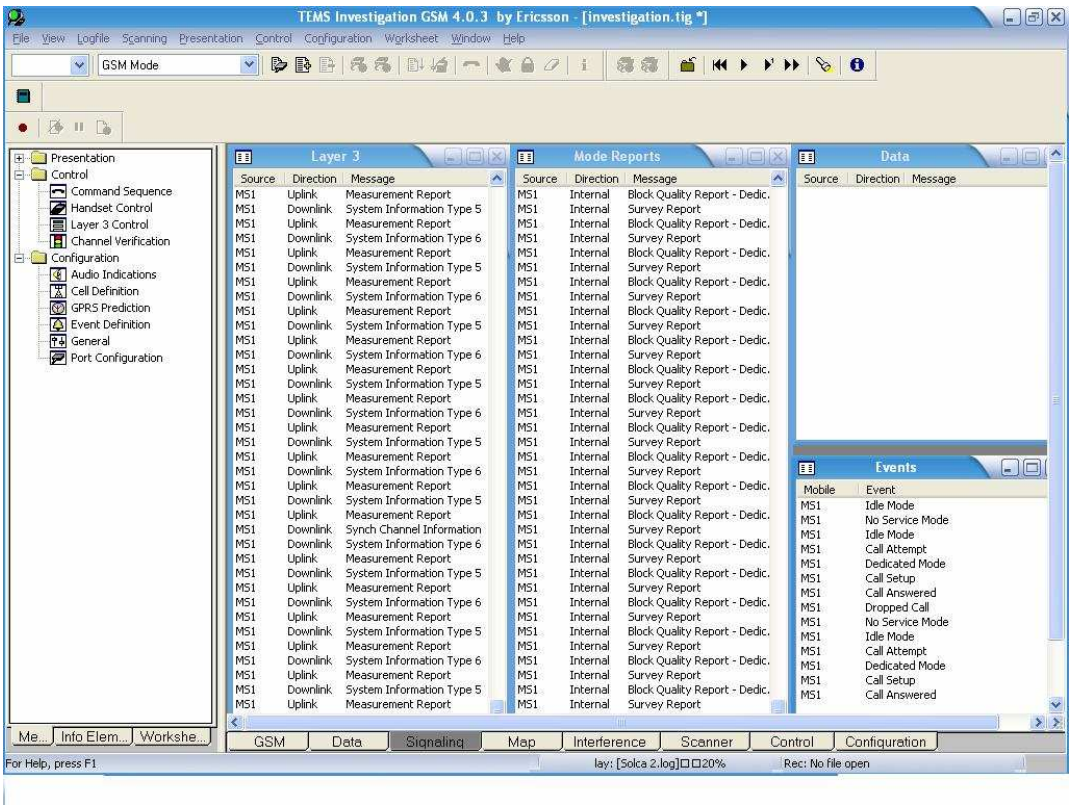


Figura 4.48 LOG_DRIVE TEST_TEMS_1.1

Se visualizan parámetros del scanner de interferencias, con las señales interferentes, medidas de C/I graficas, de FER, y escaneo de canales interferentes, como se ilustra en la fig. 4.49.

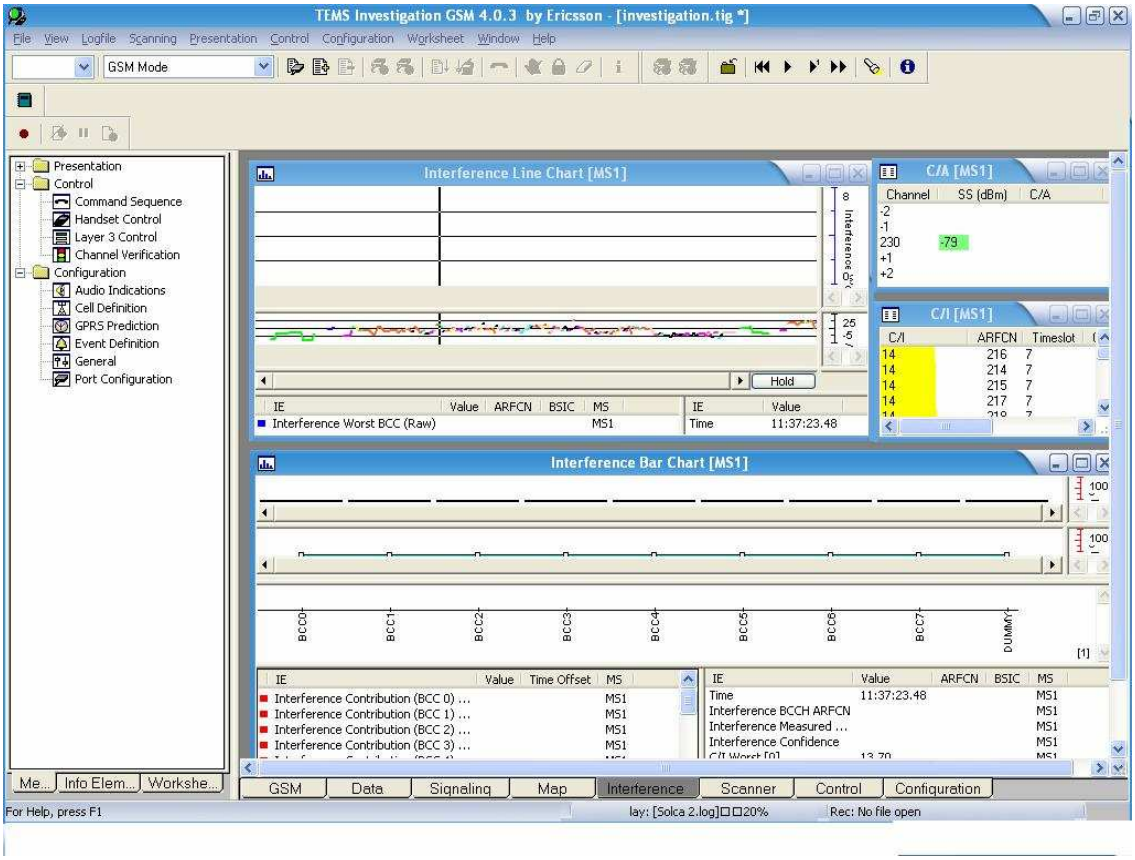


Figura 4.49 LOG_*DRIVE TEST*_TEMS_1.2

Se visualizan también gráficamente los mapas y ubicaciones en tiempo real, a través de archivos especiales de celdas y de vías principales, secundarias, del cursor del móvil y de la ruta realizada en el *drive test*, como se muestra en las fig.4.50 y 4.51.

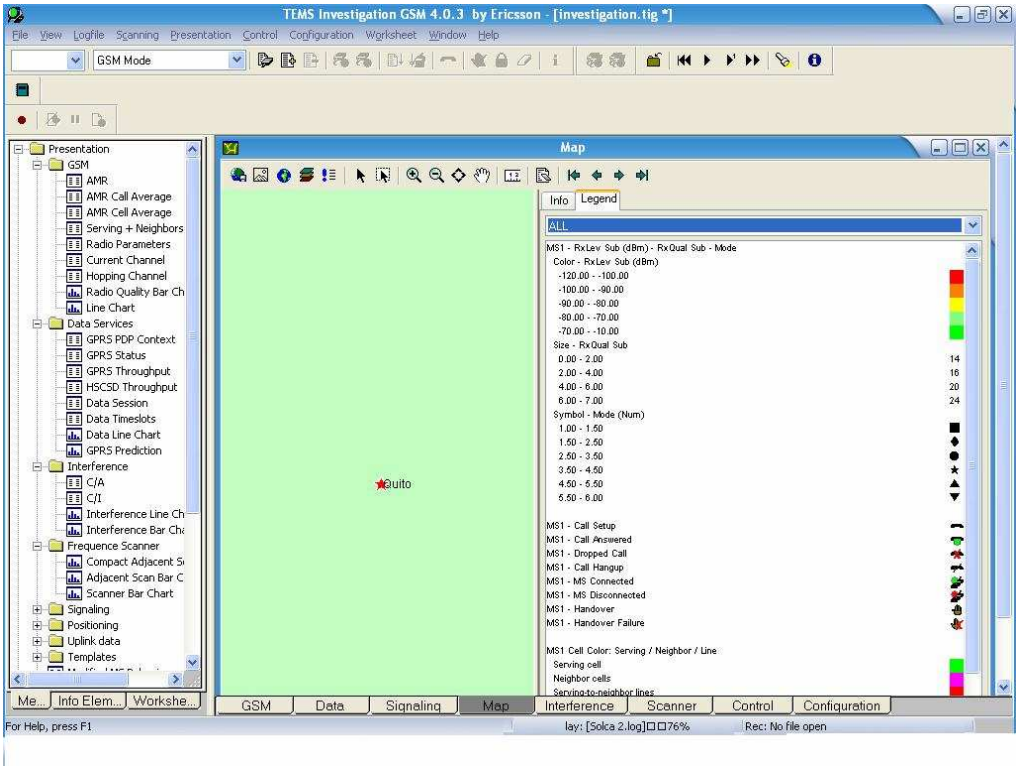


Figura 4.50 EVENTOS Y SIMBOLOS._*DRIVE TEST*_TEMS_1

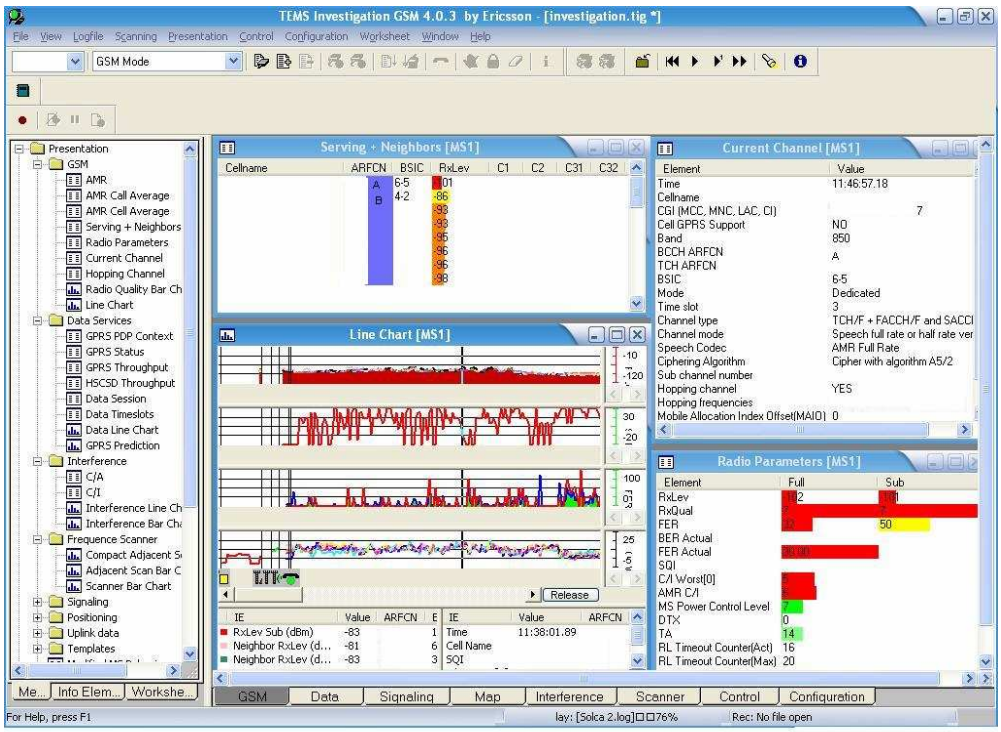


Figura 4.51 PARAMETROS-CONFIG_*DRIVE TEST*_TEMS_1

En el comportamiento del *drive tests*, se tienen simbologías usadas para los eventos que se muestran en la grafica 4.52:

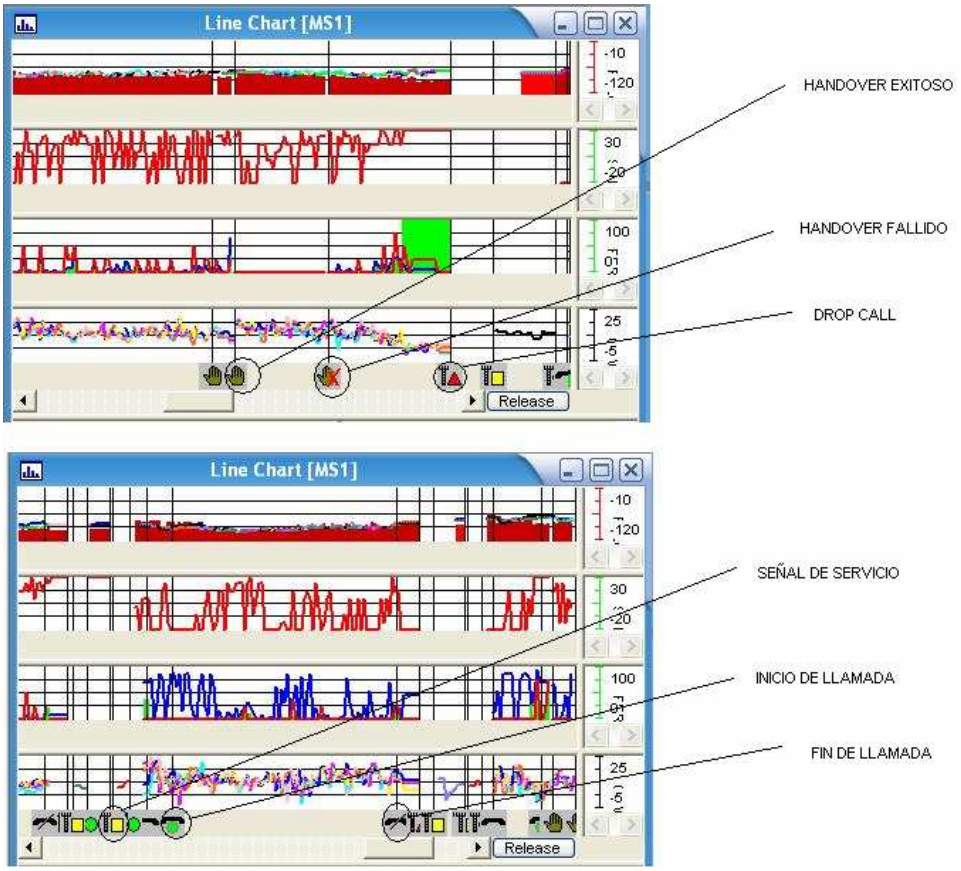


Figura 4.52 TEMATICS_*DRIVE TEST*_TEMS_1

EJEMPLO:

a) Para este ejemplo se asumen los siguientes datos:
Entre los sitios 1 y 2, se han tenido problemas como: llamadas caídas, fallas de acceso y mala calidad en la comunicación.

Datos Técnicos:

La celda 1 (Sitio 1) tiene dos sectores, que tienen la siguiente configuración:

- Sector A: *Azimuth* = 45º; BSIC = 35
- Sector B: *Azimuth* = 105º; *Tilt* eléctrico = 2º; BSIC = 35

Sitio 2:

- Sector B: *Azimuth* = 260º; BSIC = 15.
- Pot. Out = 39dBm.
- Otros Datos:

Se realizaron *Drive Test* de verificación en el área, se observaron acceso fallido y *handover* fallido y alto FER; y se identificaron interferencias lejanas: 2 Sitios con el mismo canal B, diferentes BSIC que concurren en la misma zona. Se ha trazado la ruta para realizar el *Drive Test* entre los dos sitios, la misma que se muestra en la fig. 4.53. En la figura 4.54 se puede observar el nivel de C/I del Sitio 1 y en la figura 4.55 el nivel de C/I del sitio 2.

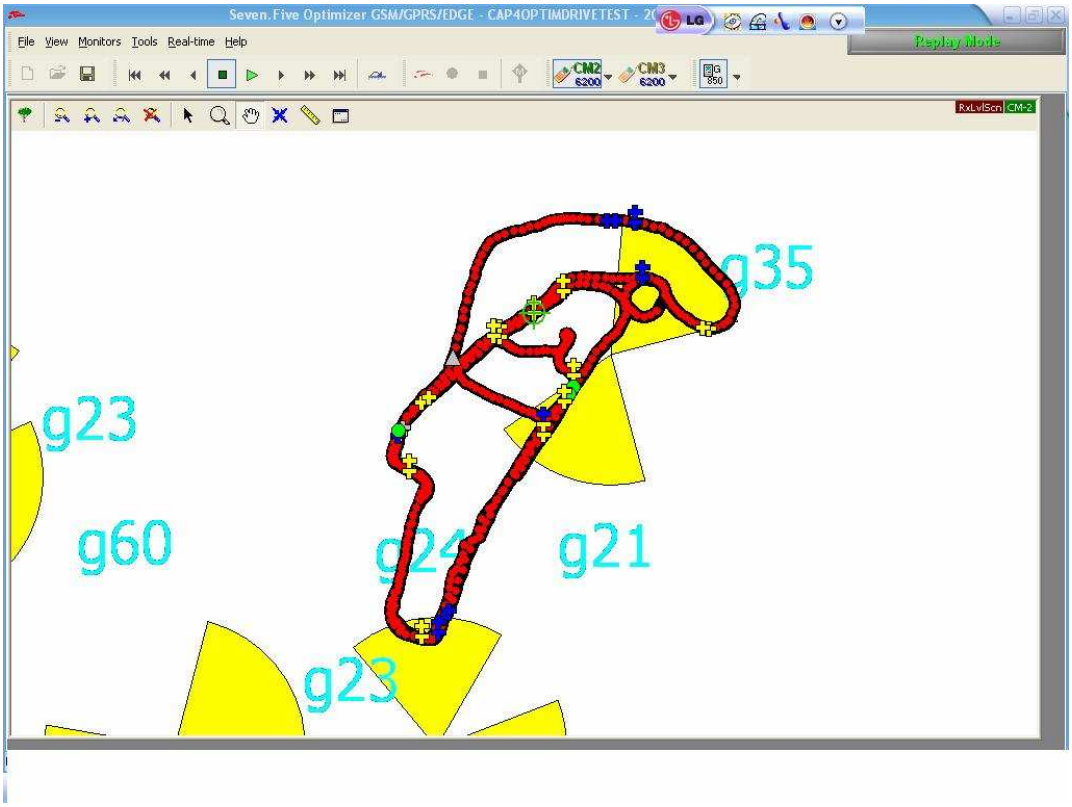


Figura 4.53 Trazo de rutas en el software *SEVEN.FIVE*

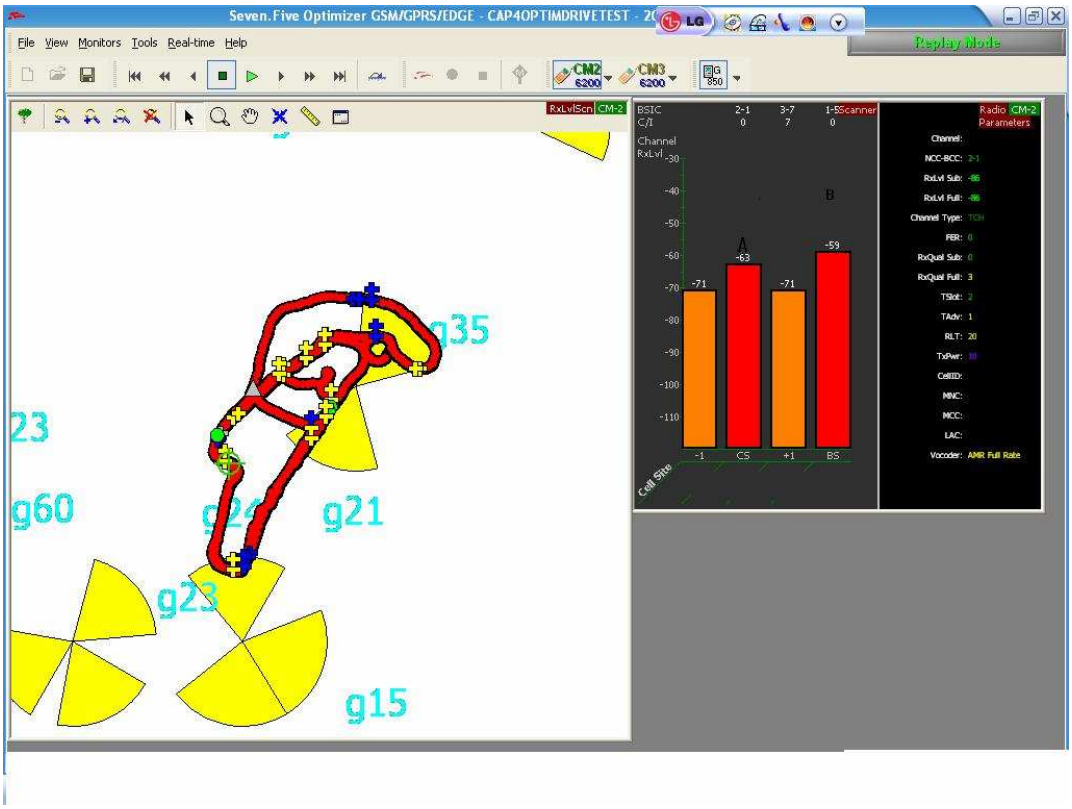


Figura 4.54 Nivel de C/I Sitio 1

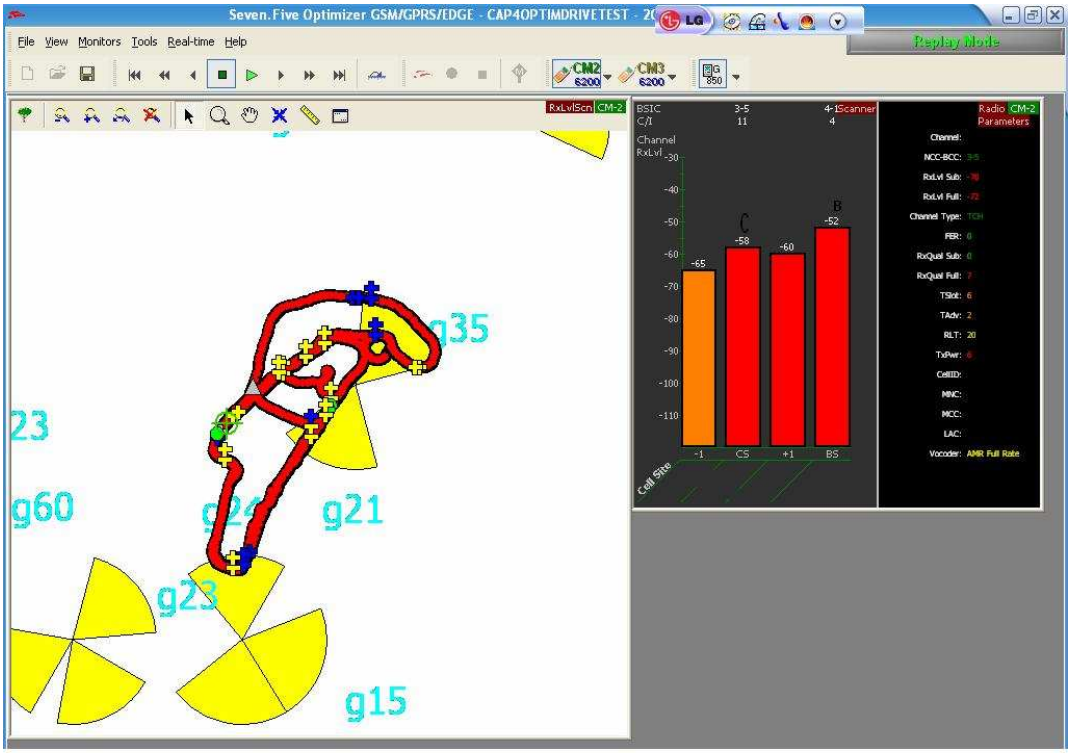


Figura 4.55 Nivel de C/I Sitio 2

b) El objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo consiste en: Mejorar la calidad de la señal, mejorar las estadísticas de red y los KPIs, los accesos fallidos, FER, interferencia y minimizar los *handover* fallidos.

c) La solución de optimización se la realizó de la siguiente manera:
Se realizaron cambios de *azimuth* y DTE en el sector 2 del sitio con canal B y BSIC y se bajó potencia en el sector 3 del sitio con canal B y BSIC. Después de los cambios se realizaron nuevos *Drive Test* y se observó mejoría, como se puede observar en los gráficos de FER y C/I posteriores.

Los cambios realizados fueron:
Sitio 1 de canal B y BSIC: *azimuth* de 105 a 110º y bajar *Tilt* eléctrico de 2 a 4º.
Sitio 2 de canal B y BSIC: variar parámetro software reducción de potencia en 2 pasos.

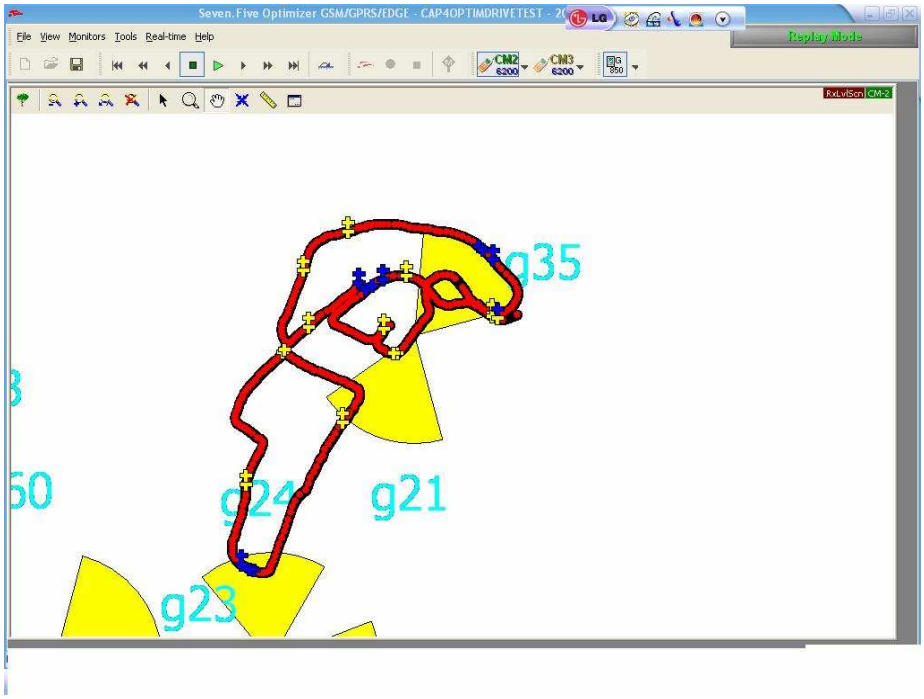


Figura 4.56 LOG1C

Una vez realizado los cambios, se hace nuevamente el recorrido de la ruta y se pueden observar los siguientes resultados comparativos:

Figura 4.57 Gráfico del FER antes del proceso

Figura 4.58 Gráfico del FER después del proceso

Gráfico C/I canal B antes:

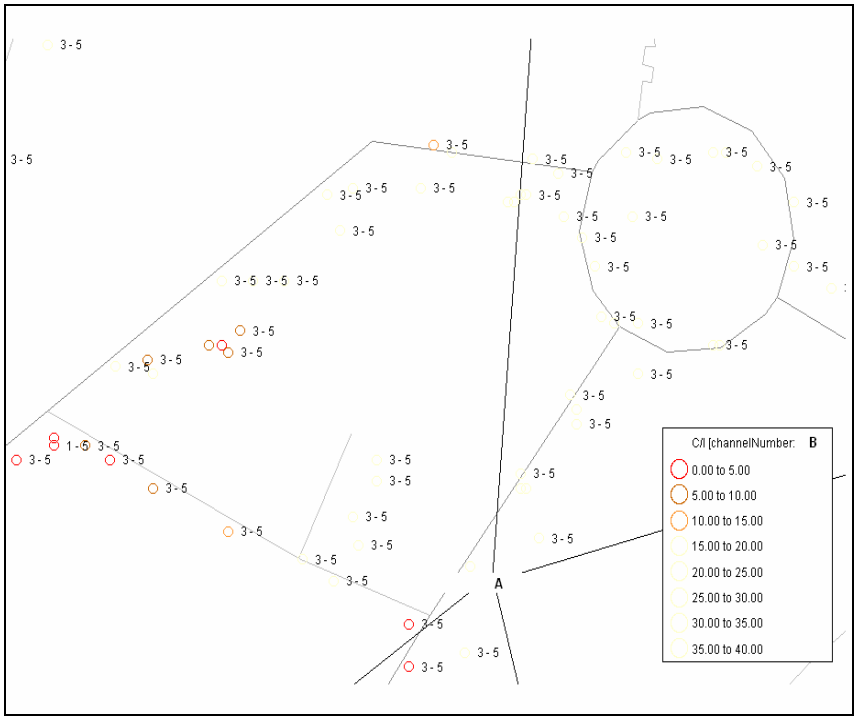


Figura 4.59 Gráfico C/I canal B antes del proceso

Gráfico C/I canal B después:

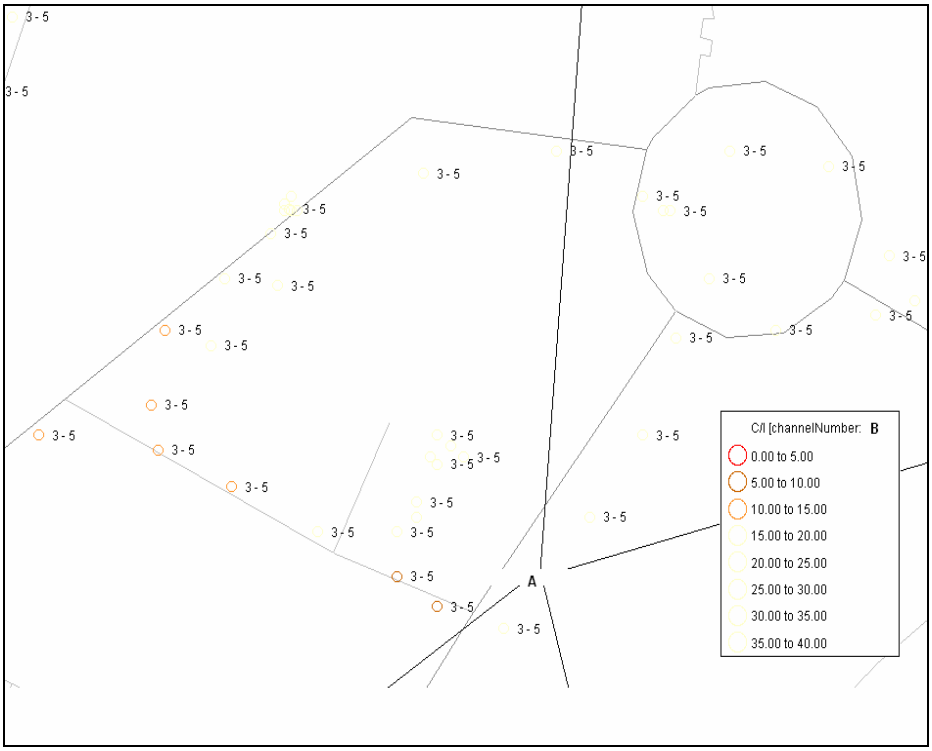
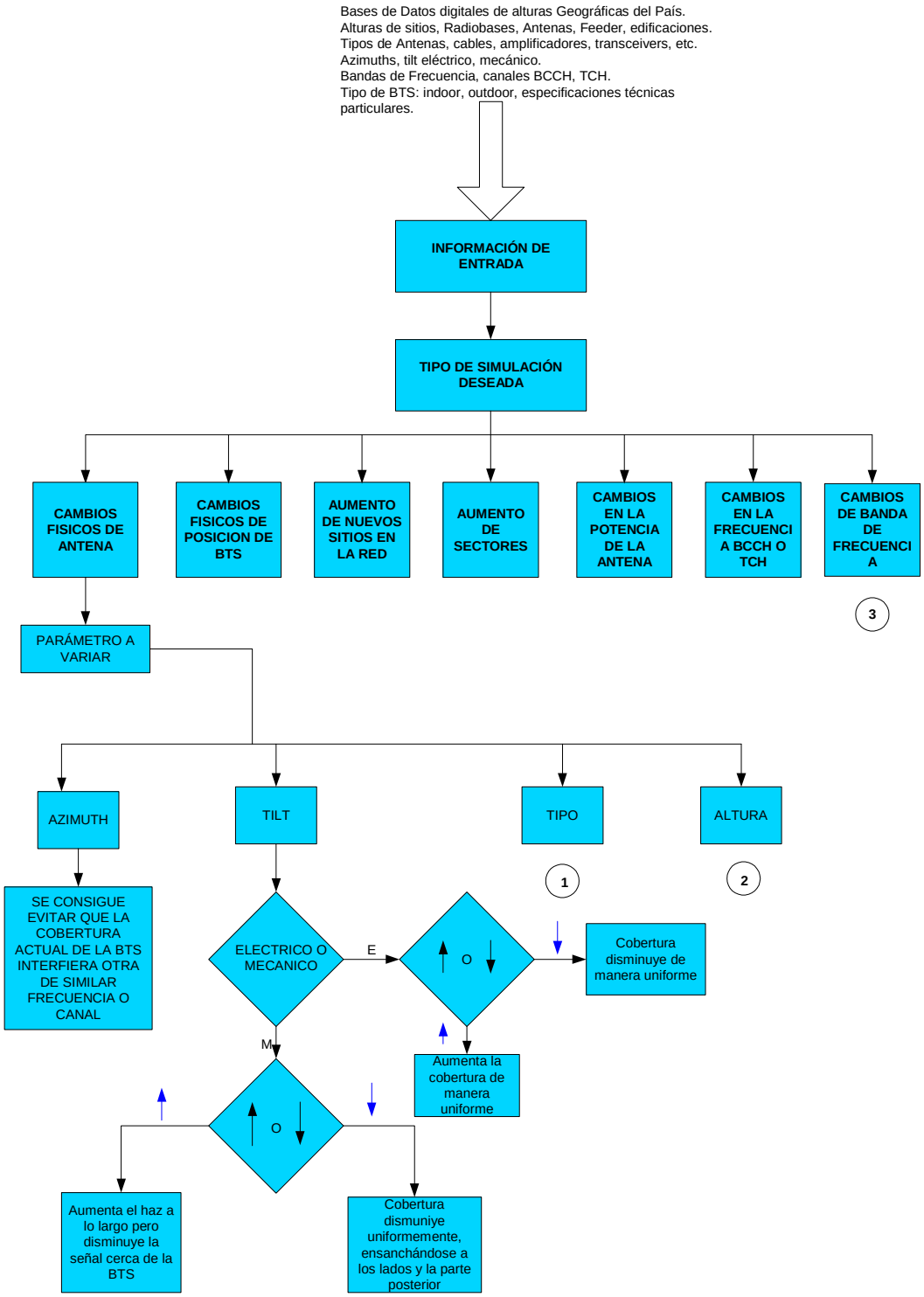


Figura 4.60 Gráfico C/I canal B después del proceso

En las figuras 4.57, 4.58, 4.59 y 4.60 se puede observar claramente que se ha logrado mejorar la calidad de la señal, mejorar las estadísticas de red, los KPIs, los accesos fallidos, FER, interferencia y minimizar los *handover* fallidos, con lo cual se cumple el objetivo planificado.

4.3.7 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE SIMULACIÓN DE PLOTS DE COBERTURA O PREDICCIÓN DE COBERTURA

En el Capítulo 3 se estudió el presente método, sin embargo en el siguiente diagrama se muestra un resumen de los pasos a seguir para optimizar cobertura con este método.


Bases de Datos digitales de alturas Geográficas del País.
Alturas de sitios, Radiobases, Antenas, Feeder, edificaciones.
Tipos de Antenas, cables, amplificadores, transceivers, etc.
Azimuths, tilt eléctrico, mecánico.
Bandas de Frecuencia, canales BCCH, TCH.
Tipo de BTS: indoor, outdoor, especificaciones técnicas particulares.
INFORMACIÓN DE ENTRADA
TIPO DE SIMULACIÓN DESEADA
CAMBIOS FISICOS DE ANTENA
CAMBIOS FISICOS DE POSICION DE BTS
AUMENTO DE NUEVOS SITIOS EN LA RED
AUMENTO DE SECTORES
CAMBIOS EN LA POTENCIA DE LA ANTENA
CAMBIOS EN LA FRECUENCIA BCCH O TCH
CAMBIOS DE BANDA DE FRECUENCIA
3
PARÁMETRO A VARIAR
AZIMUTH
TILT
TIPO
ALTURA
1
2
SE CONSIGUE EVITAR QUE LA COBERTURA ACTUAL DE LA BTS INTERFIERA OTRA DE SIMILAR FRECUENCIA O CANAL
ELECTRICO O MECANICO
E
O
Cobertura disminuye de manera uniforme
Aumenta la cobertura de manera uniforme
M
O
Aumenta el haz a lo largo pero disminuye la señal cerca de la BTS
Cobertura dismuniye uniformemente, ensanchándose a los lados y la parte posterior

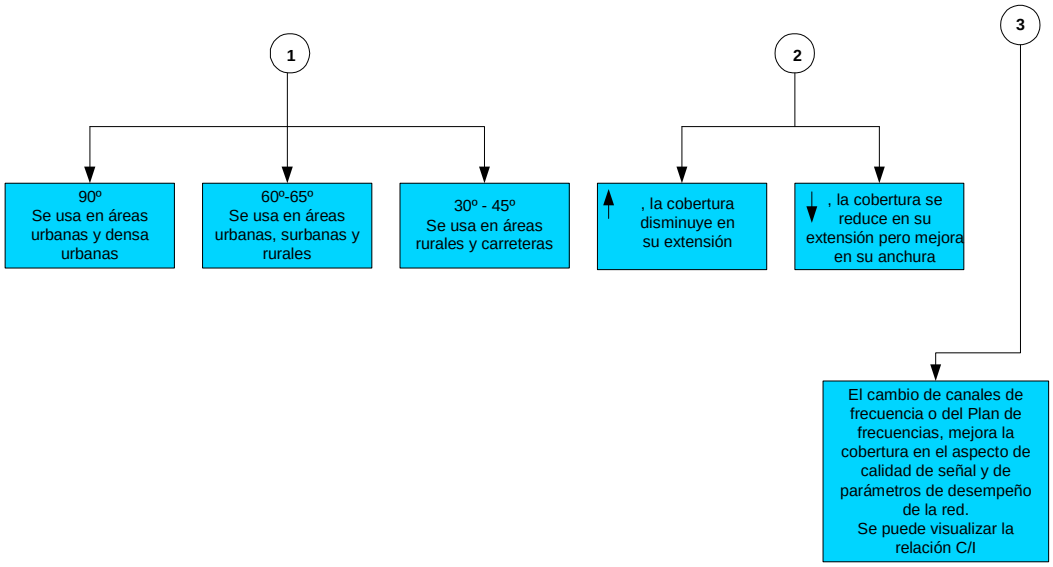


Figura 4.61 Diagrama de flujo de la Optimización de Cobertura Mediante Simulación de *plots* de cobertura o predicción de cobertura

4.3.7.1 Primer caso

a) En la figura 4.62 se indican los sitios donde se necesita mejorar la cobertura.

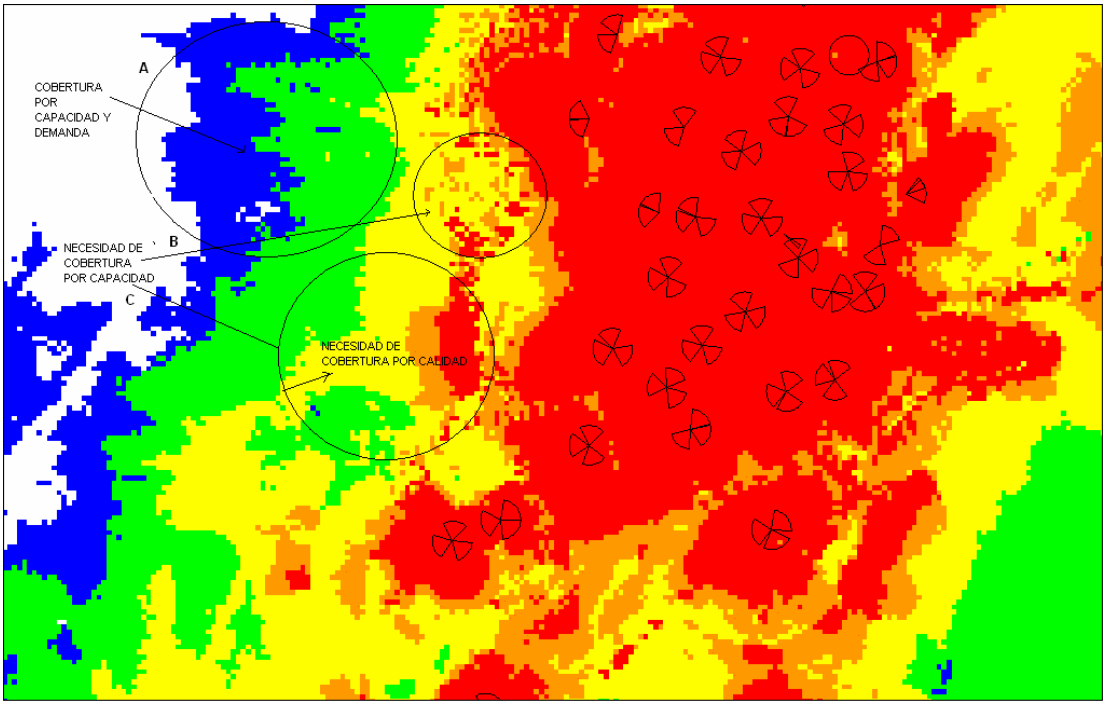


Figura 4.62 Escenarios en donde se requiere optimización de cobertura

b) El Objetivo de la optimización de Cobertura en este ejemplo, consiste en:
De acuerdo a la fig. 4.62, se puede observar que existe la necesidad de mejorar la calidad de la señal y la capacidad en el lado noroeste y oeste de la ciudad que corresponden a zonas urbanas, adicionalmente se necesita dar nueva cobertura en un centro comercial nuevo e importante en áreas montañosas y de bosque.

c) La solución que se propone para este ejemplo es la siguiente:
Mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH, se lograría brindar la cobertura esperada a las zonas que se encuentra en la parte noroeste y oeste de la celda. Para sitios urbanos se pondría antenas de 60º apuntados hacia sitios no muy poblados o suburbanos y en las que exista problemas de interferencia lejana, y para sitios urbanos y denso urbanos con alta población y casi sin riesgo de interferencia se pondría antenas de 90º.

Entonces, se ubicarán sitios en zonas donde los monopolos o terrazas permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona urbana serán de 2 sectores y con sus respectivos *azimuths* dirigidos hacia las zonas problemáticas y con necesidad de cobertura, mientras que el tercer sitio en el área montañosa deberá tener un solo sector apuntado al área de demanda; quedando la configuración de los sitios de la siguiente manera:

Procedimiento

De acuerdo a lo que se puede observar en la fig. 4.62, existen zonas en las que se desea brindar cobertura, para lo cual se deben añadir nuevos sitios en estas zonas y mediante predicción de cobertura se determinará la mejor posición para la ubicación de estos.

Los zonas que requieren cobertura se los ha denominado como zona A, zona B y zona C respectivamente.

La zona A se encuentra ubicada en un *clutter* de tipo urbano-suburbano, por lo que se debe implementar un sitio que tenga un sector con altura de antena entre 8 y 10 m, con *azimuth* de 285º y apertura de lóbulo de 60º apuntando hacia la zona a cubrir. Se pone ese valor de *azimuth* ya que la zona a cubrir está en el lado noroeste del sitio A. Estos datos se ingresaron en el programa ASSET 3G y se hizo correr el programa para obtener la predicción de cobertura correspondiente, en la que se observó que se logra cubrir la zona problema, sin embargo se tenía interferencia a nivel lejano por lo que se tuvo que ir variando el *tilt* eléctrico hasta el valor de 2º, con lo que el sector 3 del Sitio A queda estructurado de la siguiente manera

SITIO A:

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 285º, *Tilt* mecánico = 0º, H=8m, Apertura lóbulo = 60º

Estos datos se ingresaron en el programa ASSET 3G como se muestra en la fig. 4.63

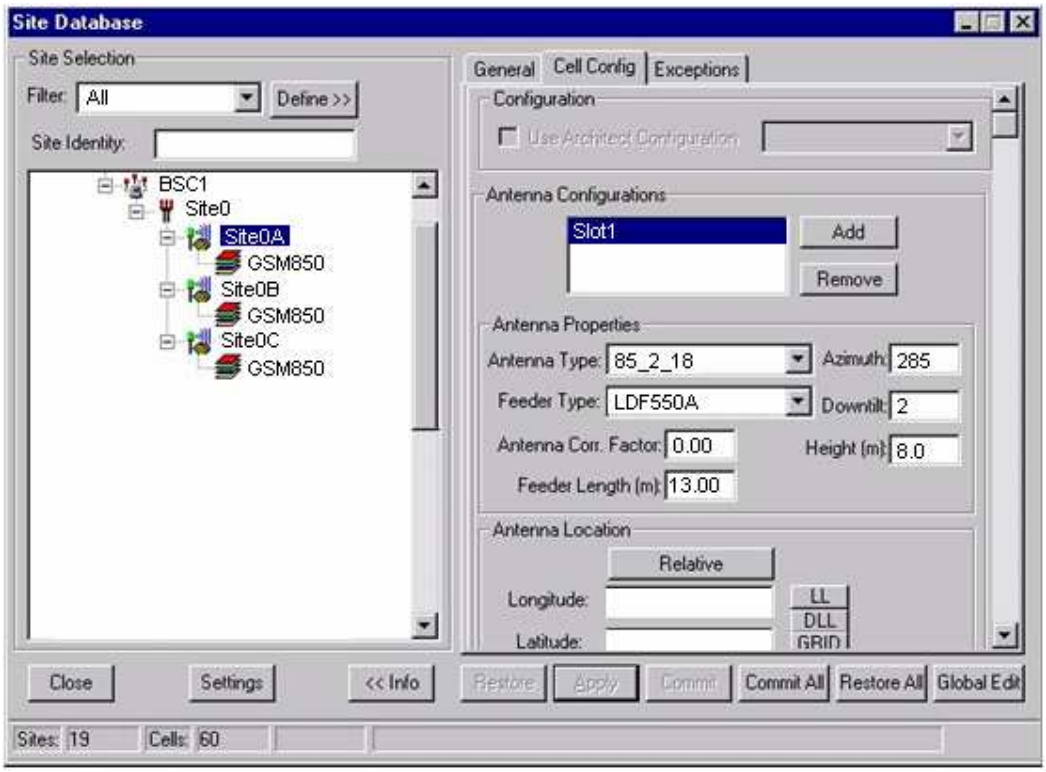


Figura 4.63 Ingreso de Datos en ASSET 3G_Sitio A-Sector 3

La zona B se encuentra ubicada en un *clutter* de tipo denso urbano, por lo que se debe implementar un sitio que tenga dos sectores (sector 1 y sector 3) con alturas de antenas de 30m y apertura de lóbulo de 90º. El sector 1 se lo ubica con un *azimuth* de 350º ya que la zona a cubrir en este sitio está en el lado noroeste y el sector 3 se lo ubica con un *azimuth* de 250º ya que también se necesita cubrir el lado suroeste del sitio. Inicialmente se puso un *tilt* eléctrico de 0º, pero en la herramienta de predicción de cobertura se pudo observar que se tiene interferencia a nivel lejano con otra celda, por lo que se puso un *tilt* eléctrico de 1º para los dos sectores, con lo que el sitio B queda estructurado de la siguiente manera:

SITIO B:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 350º, *Tilt* mecánico = 0º, H=30m, Apertura lóbulo = 90º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 210º, *Tilt* mecánico = 0º, H=30m, Apertura lóbulo = 90º

Estos datos se los ingresó en el programa ASSET 3G como se muestra en las figuras 4.64 y 4.65 respectivamente.

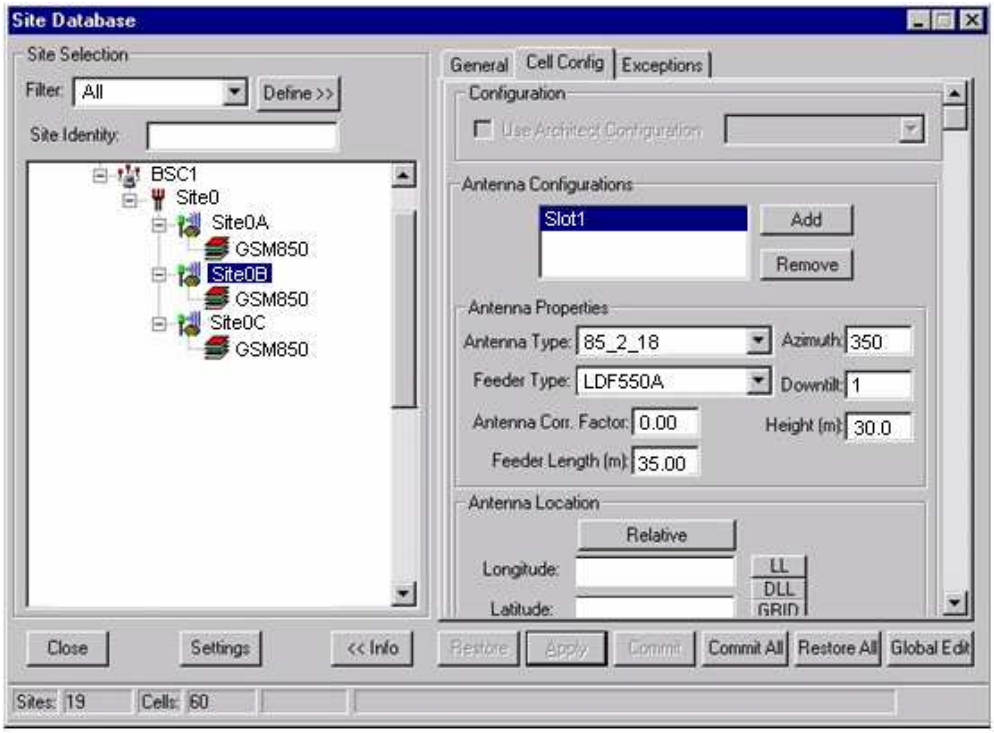


Figura 4.64 Ingreso de Datos en ASSET 3G_Sitio B-Sector 1

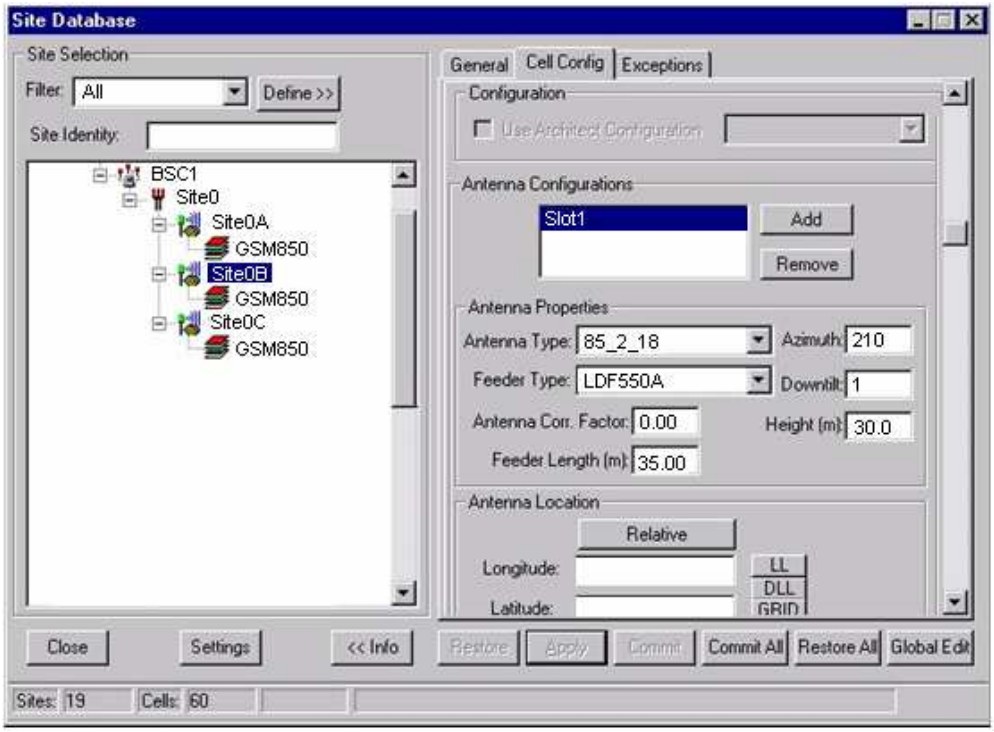


Figura 4.65 Ingreso de Datos en ASSET 3G_Sitio B-Sector 3

La zona C se encuentra ubicado en un *clutter* de tipo urbano-denso urbano, por lo que se debe implementar un sitio que tenga dos sectores (sector 2 y sector 3) con alturas de antenas de 30m y apertura de lóbulo de 90º para la zona denso urbana y 60º para la zona urbana. El sector 2 se lo ubica con un *azimuth* de 100º ya que la zona a cubrir en este sitio está en el lado sureste y el sector 3 se lo ubica con un *azimuth* de 270º ya que también se necesita cubrir el lado oeste del sitio. Inicialmente se puso un *tilt* eléctrico de 0º, pero en la herramienta de predicción de cobertura se pudo observar que se tiene interferencia a nivel lejano con otra celda, por lo que se puso un *tilt* eléctrico de 1º para el sector 2 y 2º para el sector 3, con lo que el sitio C queda estructurado de la siguiente manera:

SITIO C:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 100º, *Tilt* mecánico = 2º, H=30m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 270º, *Tilt* mecánico = 0º, H=30m, Apertura lóbulo = 90º

Estos datos se los ingresó en el programa ASSET 3G como se muestra en las figuras 4.66 y 4.67 respectivamente.

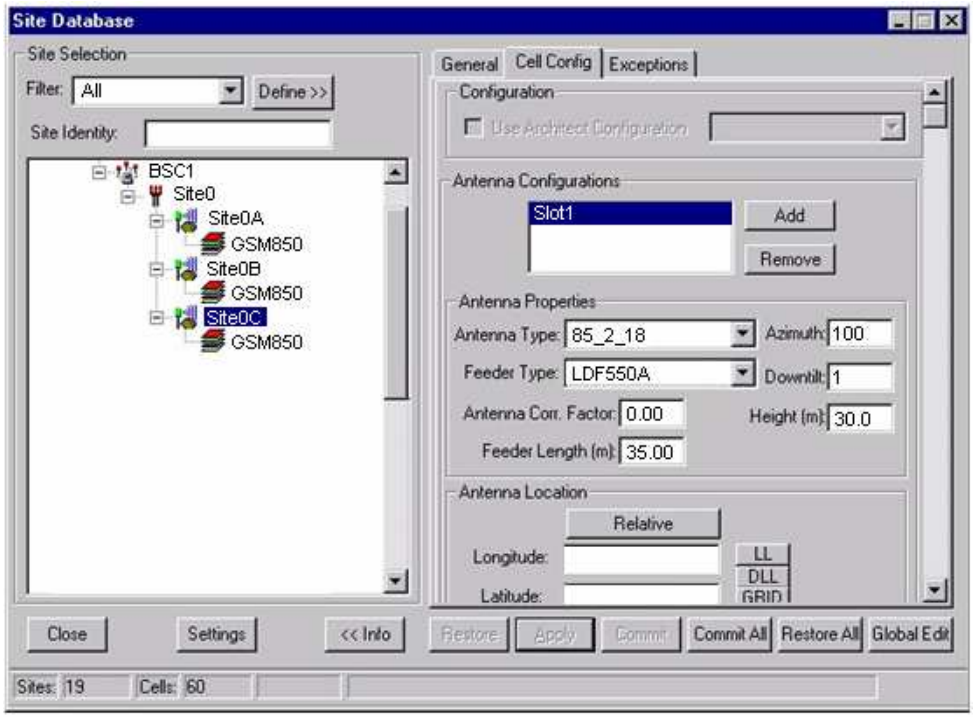


Figura 4.66 Ingreso de Datos en ASSET 3G_Sitio C-Sector 2

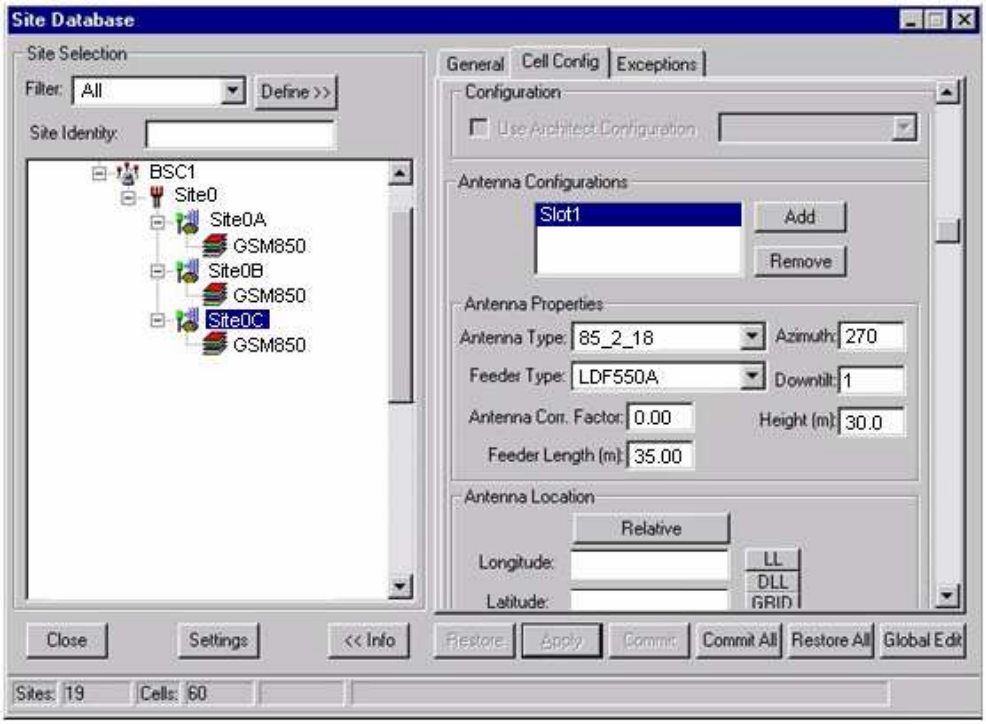


Figura 4.67 Ingreso de Datos en ASSET 3G_Sitio C-Sector 3

Con todos estos datos ingresados en el programa ASSET 3G, en la siguiente figura se muestra la ubicación de los nuevos sitios.

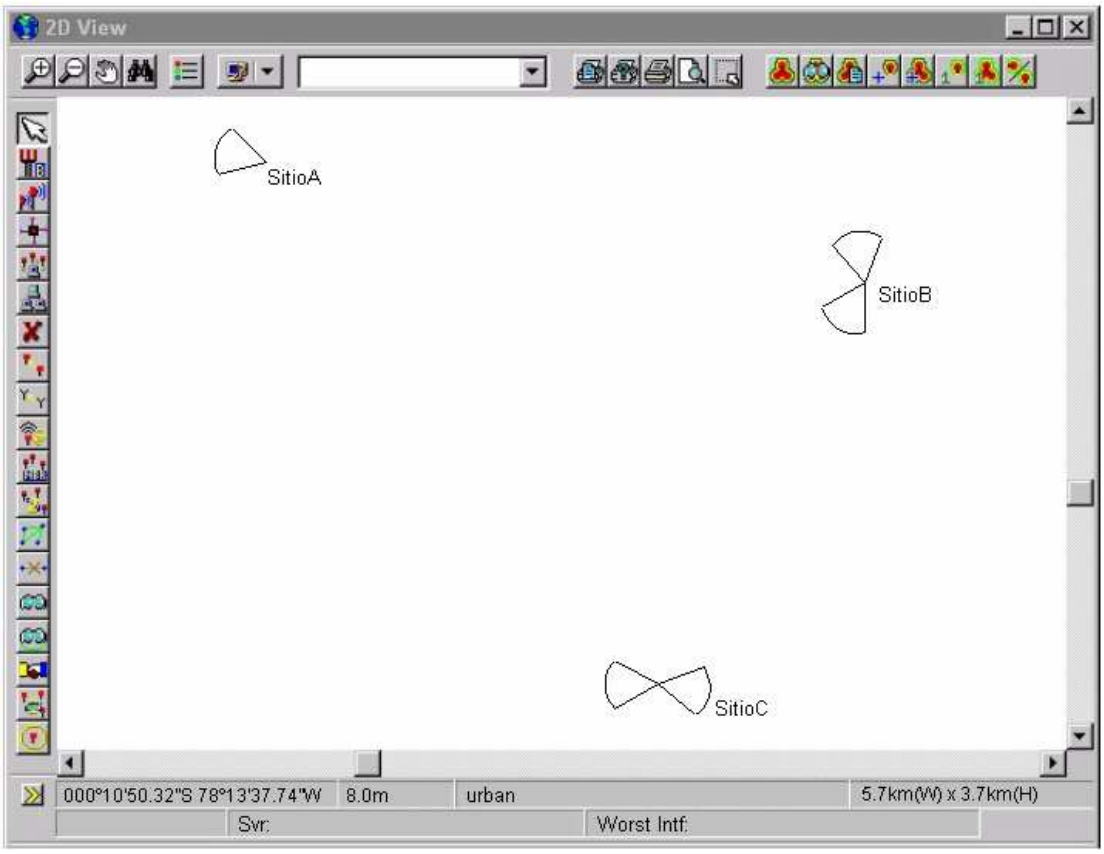


Figura 4.68 Ubicación de los Nuevos Sitios

d) El resultado de la solución propuesta se muestra en la fig. 4.69, en donde efectivamente se puede observar que se logró mejorar la calidad de la señal y la capacidad en el lado noroeste y oeste de la ciudad, así como las zonas urbanas, adicionalmente se brindó cobertura a un nuevo centro comercial importante, así como en áreas montañosas y de bosque, cumpliendo con el objetivo planificado.

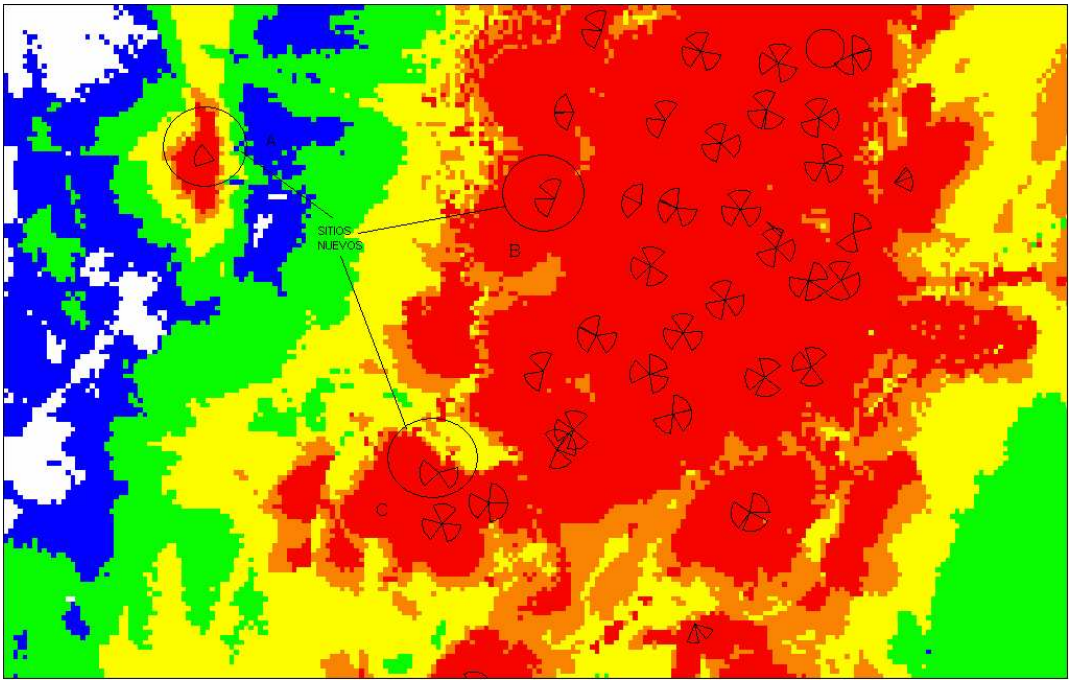


Figura 4.69 Predicción de Cobertura con los nuevos sitios

Una vez que se ha conseguido la situación deseada, las BTSs a implementarse serían las que se muestra en las siguientes figuras:

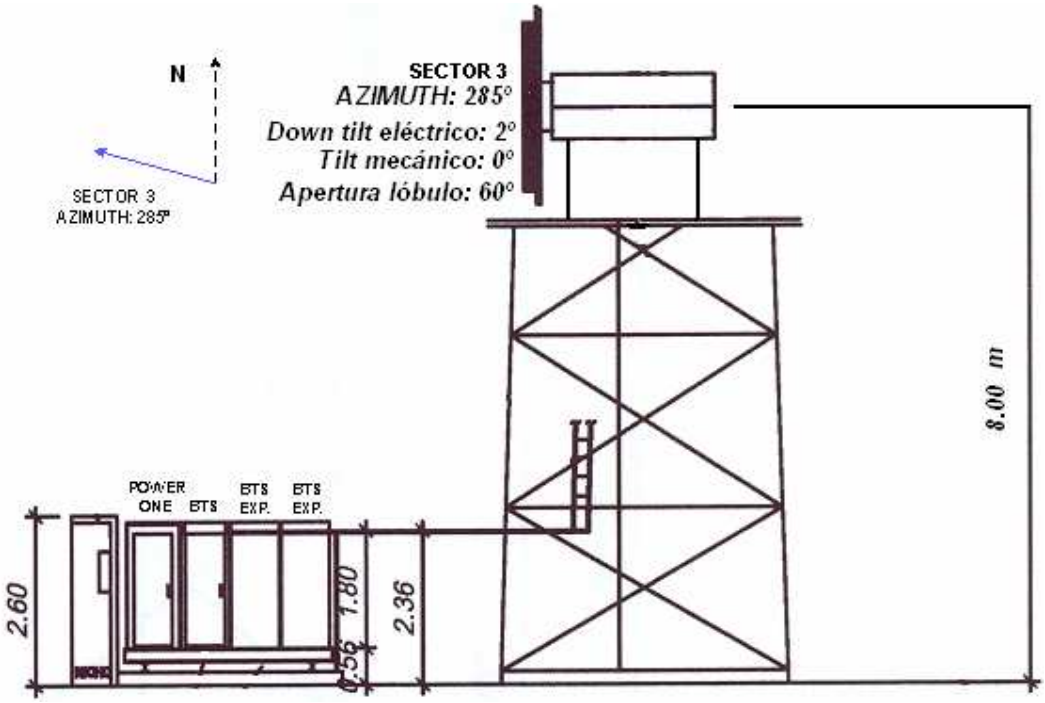


Figura 4.70 BTS a Implementarse_Sitio A-Sector 3

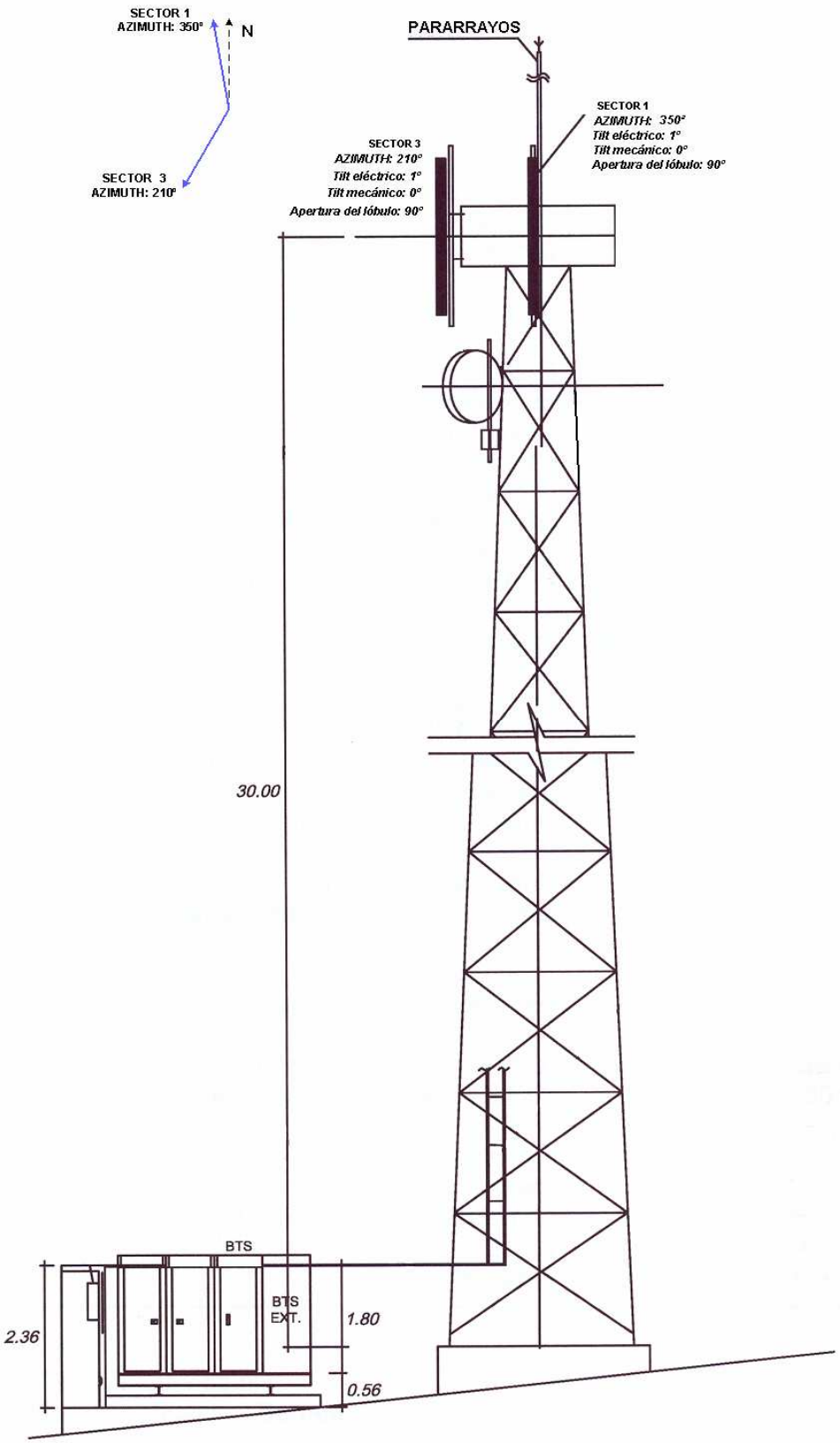


Figura 4.71 BTS a Implementarse_Sitio B-Sector 1y 3

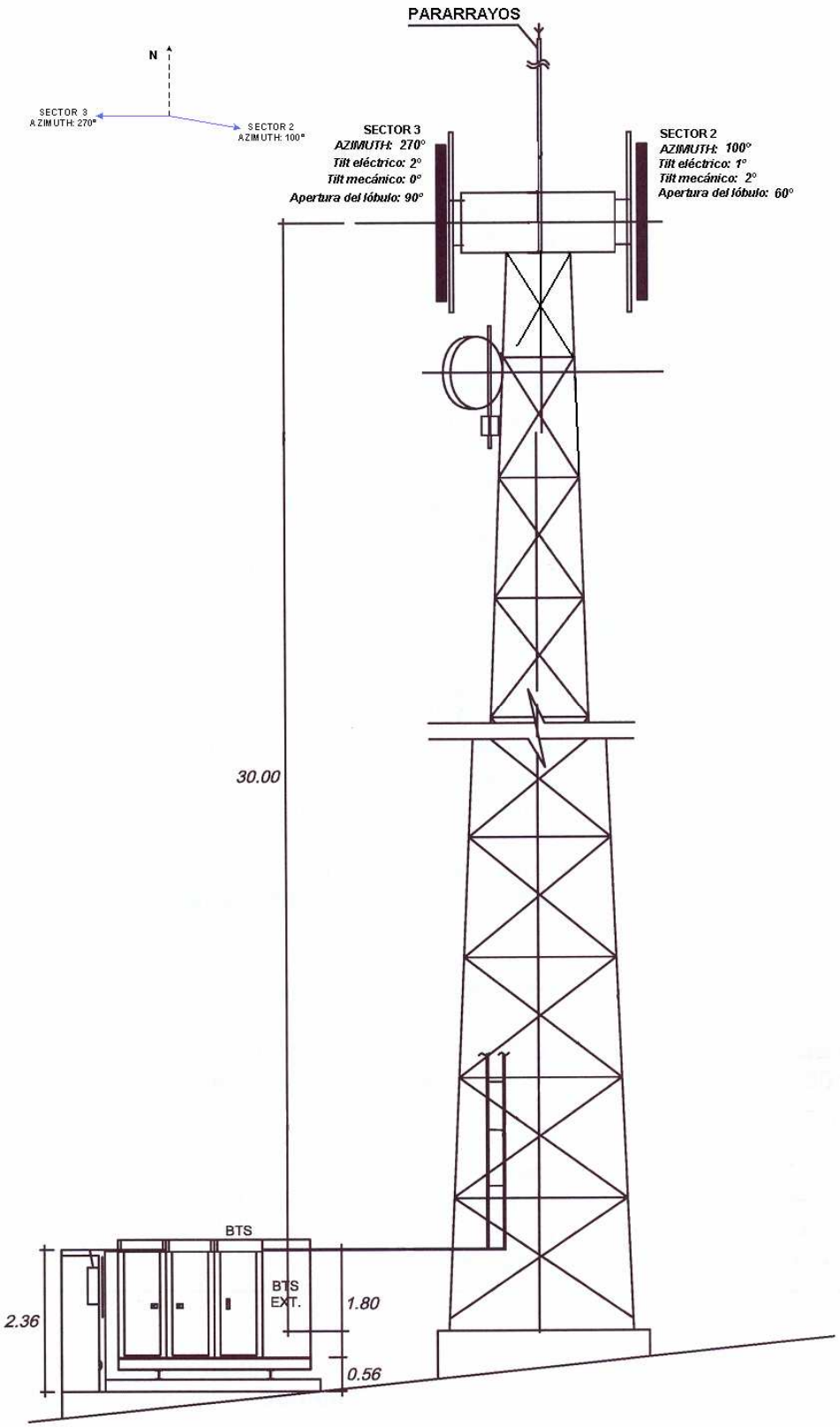


Figura 4.72 BTS a Implementarse_Sitio B-Sector 2 y 3

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth*, *Tilts* eléctricos – mecánicos adicionalmente.

Nota: Nótese que la implementación de nuevos sitios en la red, incluye elevados costos adicionales por materiales de sistema de radiación, de construcciones civiles, eléctricos, de arrendamiento o compra de terrenos del sitio, etc. y una cuidadosa planeación de frecuencias BCCH y TCH.

4.3.7.2 Segundo caso

a) Para este ejemplo, se asume la situación que se muestra en la fig. 4.73

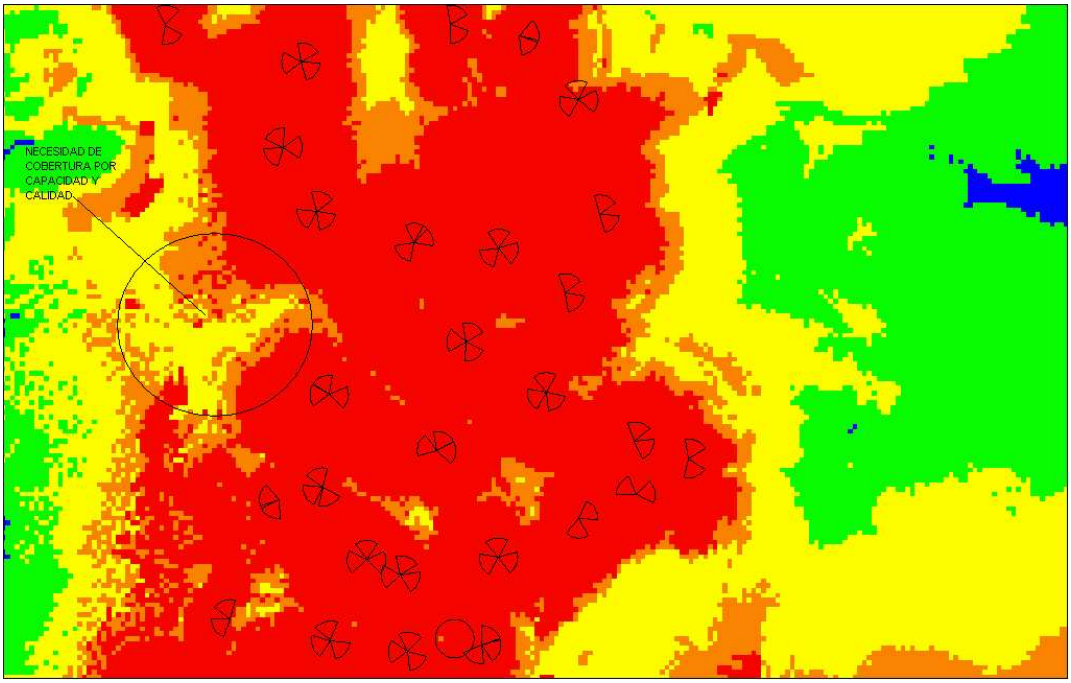


Figura 4.73 Necesidad de cobertura por falta de capacidad y calidad

b) El objetivo de la optimización de cobertura en este ejemplo consiste en:
Observando la fig. 4.73, se puede ver que existe la necesidad de mejorar la calidad de la señal y la capacidad en el lado oeste de la ciudad que además es una zona urbana.

c) La solución que se plantea es la siguiente:
Esto se solucionara mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH.

Entonces, se ubicará 1 sitio en la zona donde los monopolos o terrazas permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona urbana serán de 3 sectores con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas y con necesidad de cobertura; quedando la configuración de los sitios así:

SITIO NUEVO:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 35º, *Tilt* mecánico = 0º, Apertura de lóbulo = 60º
SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 240º, *Tilt* mecánico = 0º, Apertura de lóbulo = 60º
SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 280º, *Tilt* mecánico = 0º, Apertura de lóbulo = 60º

d) El resultado de la solución planteada, se muestra en la fig. 4.74, en donde efectivamente se puede observar que se ha cumplido con el objetivo planificado que fue el de mejorar la calidad de la señal y la capacidad en el lado oeste de la ciudad.

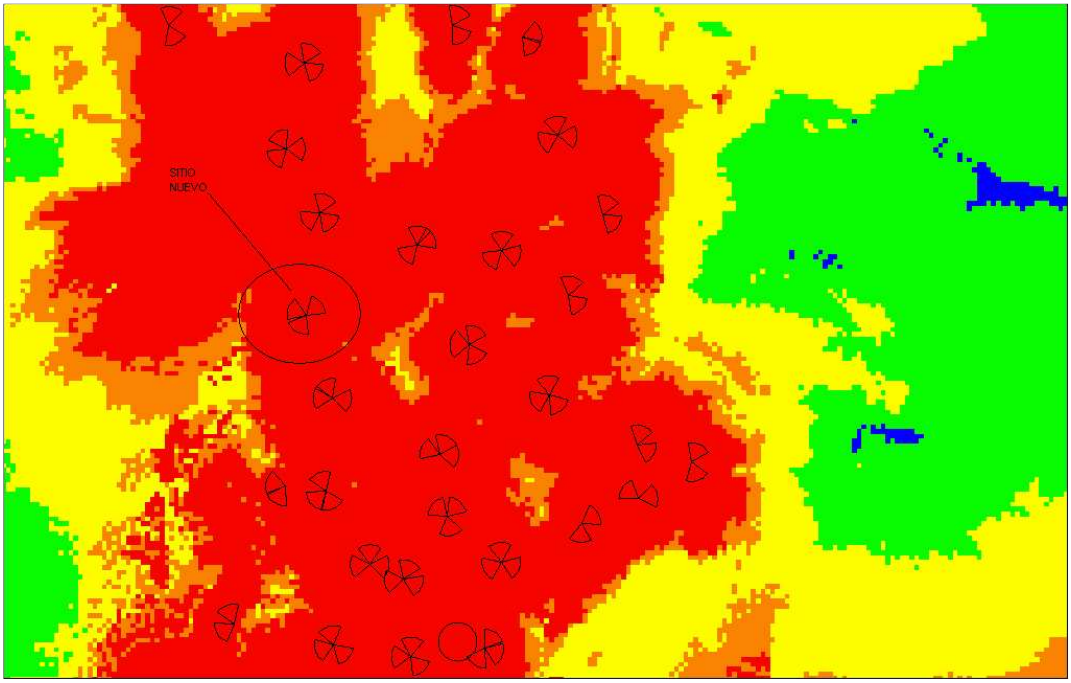


Figura 4.74 Ubicación del nuevo sitio

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth*, *Tilts* eléctricos – mecánicos adicionalmente.

Nótese que la implementación de nuevos sitios en la red, incluye elevados costos adicionales por materiales de sistema de radiación, de construcciones civiles, eléctricos, de arrendamiento o compra de terrenos del sitio, etc. y una cuidadosa planeación de frecuencias BCCH y TCH.

4.3.7.3 Tercer caso

a) Para este ejemplo, se asume la situación que se muestra en la fig. 4.75

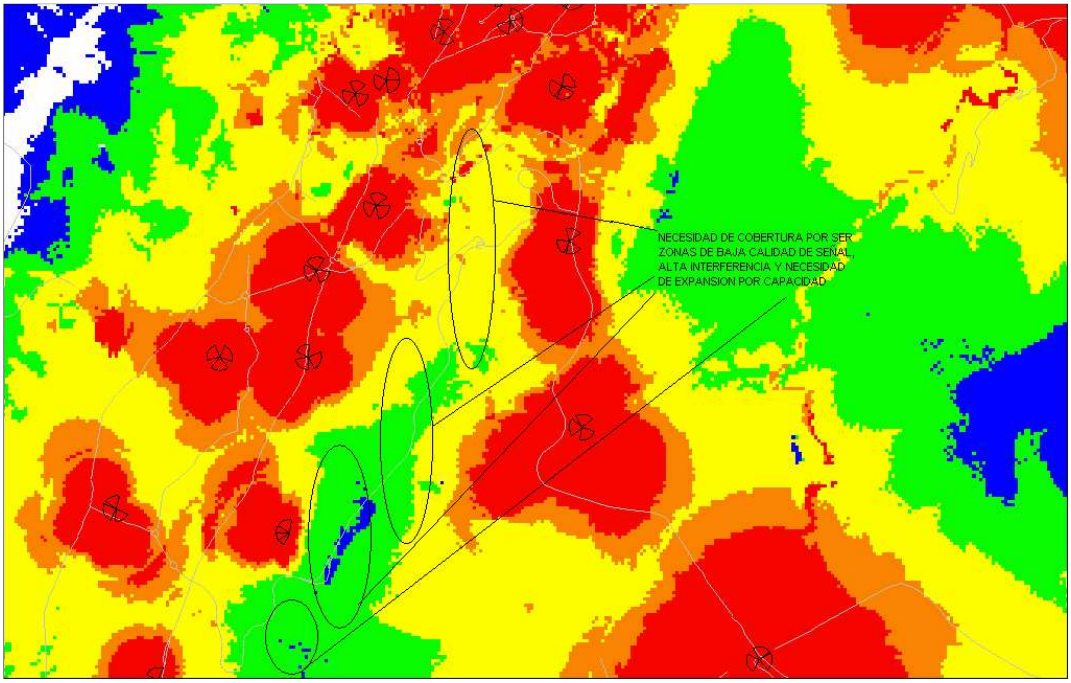


Figura 4.75 Necesidad de Cobertura por ser zonas de baja calidad de señal, alta interferencia y necesidad de expansión por capacidad

b) El objetivo de la optimización de la cobertura en este ejemplo, consiste en: De acuerdo a la fig. 4.75, se ve la necesidad de mejorar la calidad de la señal y la cobertura en el lado oeste y sur oeste de la ciudad, a lo largo de una vía principal y carretero.

c) Esta situación se solucionará mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH.

Entonces, se ubicarán 5 sitios en la zona donde los monopolos o torres pequeñas permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de la carreteras serán de 2 sectores, con apertura para zonas de carreteras de 30º de lóbulo horizontal y con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas y con necesidad de cobertura; quedando la configuración de los sitios de la siguiente manera:

SITIOS PRIMERA FASE

SITIO 1 CENTRO NORTE:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 115º, *Tilt* mecánico = 1º, por evitar interferencias lejanas o vecinas, Alturas de antenas = 10 m, Apertura lóbulo=30º.

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 210º, *Tilt* mecánico = 1º, por evitar interferencias lejanas o vecinas, Alturas de antenas = 10 m, Apertura lóbulo=30º.

SITIO 2 CENTRO:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 30º, *Tilt* mecánico = 1º, por evitar interferencias lejanas o vecinas, Alturas de antenas = 8 m, Apertura lóbulo= 30º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 170º, *Tilt* mecánico = 3º, por evitar interferencias lejanas o vecinas, Alturas de antenas = 8 m, Apertura lóbulo=30º.

El resultado de la configuración de los sitios para la primera fase, se muestra en la siguiente figura:

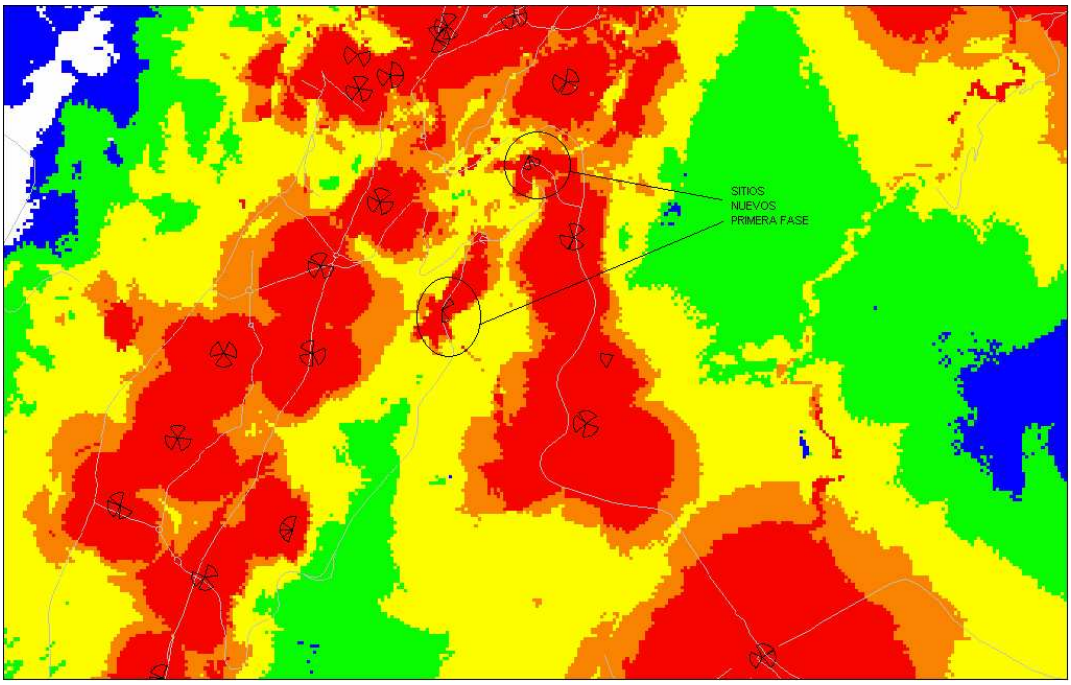


Figura 4.76 Sitios nuevos primera fase

SITIOS SEGUNDA FASE:

SITIO 3 NORTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 0º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 8 m, Apertura lóbulo = 30º.

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º , *Azimuth* = 230º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 8 m, Apertura lóbulo = 30º.

SITIO 4 CENTRO SUR:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 10º, *Tilt* mecánico = 1º, por evitar interferencias lejanas. Alturas de antenas = 8 m, Apertura lóbulo = 30º.

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 240º, *Tilt* mecánico = 3º, por evitar interferencias. Alturas de antenas = 8 m, Apertura lóbulo = 30º.

SITIO 5 CENTRO SUR:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico =0 º, *Azimuth* = 15º, *Tilt* mecánico = 0. Alturas de antenas = 8 m, Apertura lóbulo = 30º.

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico =0 º, *Azimuth* = 160º, *Tilt* mecánico = 1º, por evitar interferencias. Alturas de antenas = 8 m, Apertura lóbulo = 30º.

El resultado de la configuración de los sitios para la segunda fase, se muestra en la figura 4.77:

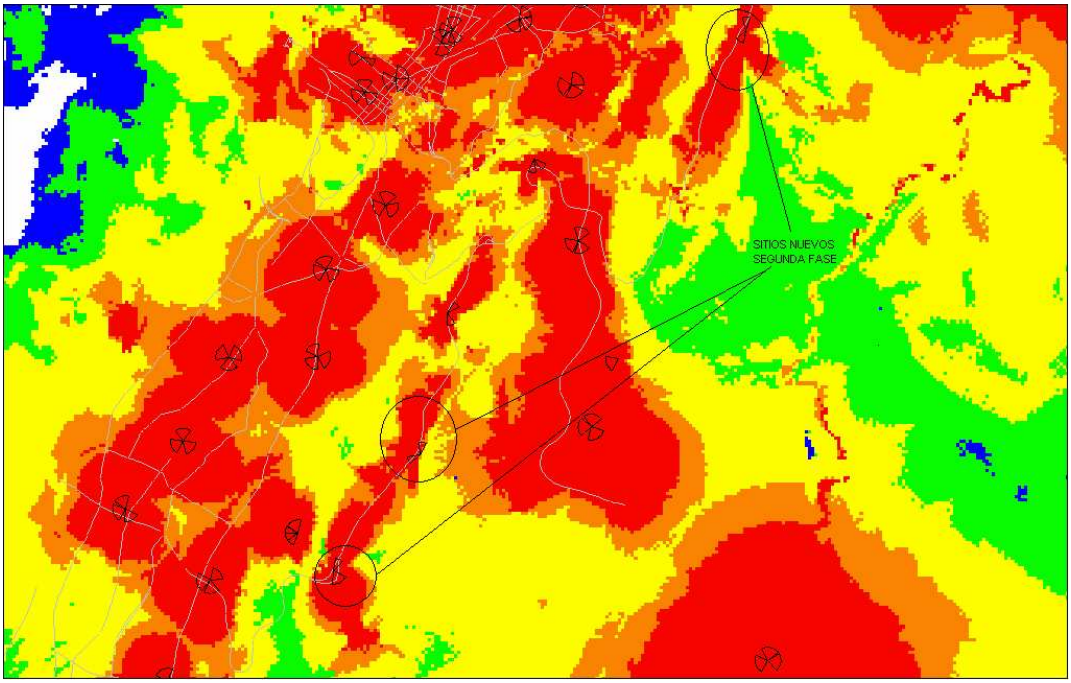


Figura 4.77 Sitios nuevos segunda fase

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *Drive test* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth*, *Tilts* eléctricos – mecánicos adicionalmente.

Nótese que la implementación de nuevos sitios en la red, incluye elevados costos adicionales por materiales de sistema de radiación, de construcciones civiles, eléctricos, de arrendamiento o compra de terrenos del sitio, etc. y una cuidadosa planeación de frecuencias BCCH y TCH.

4.3.7.4 Cuarto caso

a) Para este ejemplo, se asume la situación que se muestra en la fig. 4.78

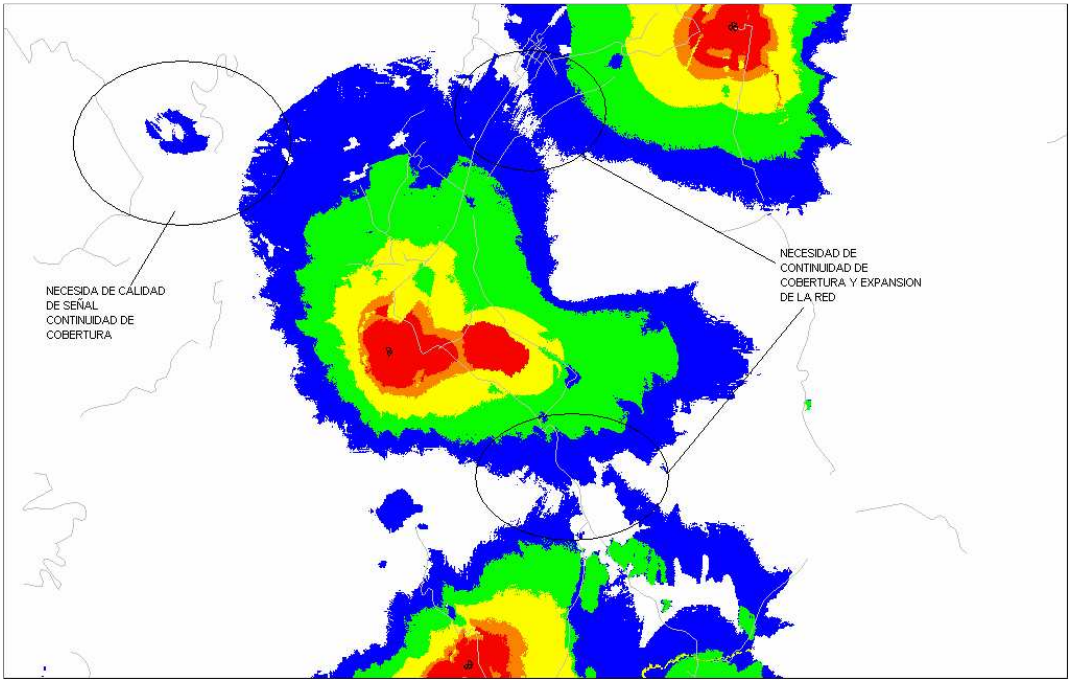


Figura 4.78 Zonas en las que hace falta Cobertura

b) El objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en: Observando la fig. 4.78, se puede apreciar que se tiene la necesidad de mejorar la calidad de la señal y dar una continuidad de la cobertura en el lado sur y noroeste de la celda central, a lo largo de una troncal de carretero.

c) Esta situación se solucionará mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH. Tomando en cuenta que están rodeados por zonas rurales, carreteros y zonas de vegetación.

Entonces, se ubicarán 2 sitios en la zona donde las torres permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de carreteras serán de 2 sectores y 3 sectores, con apertura para zonas de carreteras de 30º de lóbulo horizontal y para poblaciones rurales y suburbanas de 60 º, con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas de calidad de señal y con necesidad de cobertura; quedando la configuración de los sitios de la siguiente manera:

SITIOS PRIMERA FASE

SITIO 1 NOROESTE:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 85º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 30º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 280º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 30º

SITIO 2 SUR:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 10º, *Tilt* mecánico = 0º Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 170º, *Tilt* mecánico = 1º, por evitar interferencias lejanas o vecinas, Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo=60º.

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 320º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 42 m, Apertura lóbulo = 60º

El resultado de la configuración de los sitios para la primera fase, se muestra en la figura 4.79:

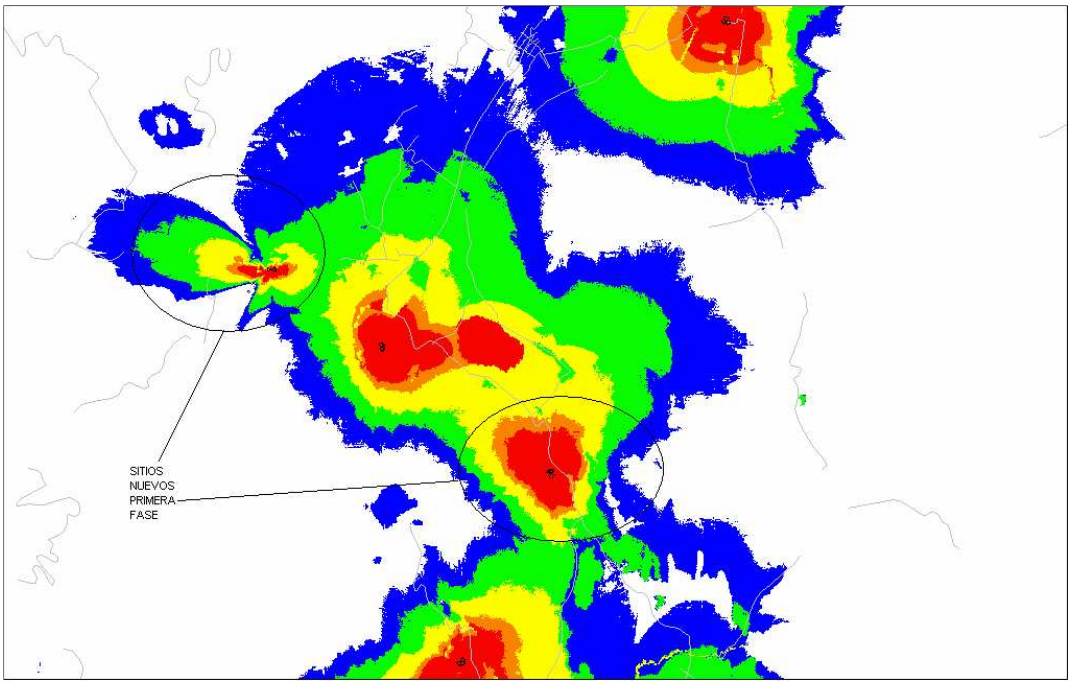


Figura 4.79 Sitios nuevos primera fase

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *drive tests* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth*, *Tilt* eléctricos – mecánicos adicionalmente.

Nótese que la implementación de nuevos sitios en la red, incluye elevados costos adicionales por materiales de sistema de radiación, de construcciones civiles, eléctricos, de arrendamiento o compra de terrenos del sitio, etc. y una cuidadosa planeación de frecuencias BCCH y TCH. Además la Segunda Fase terminaría con la adición de un tercer sitio en la zona Norte de la celda central, en la que se adecuaría la celda con 2 sectores y aperturas de 30º horizontales a una altura no mayor a 30m.

4.3.7.5 Quinto caso

a) Para este ejemplo se asume la situación que se muestra en la siguiente figura:

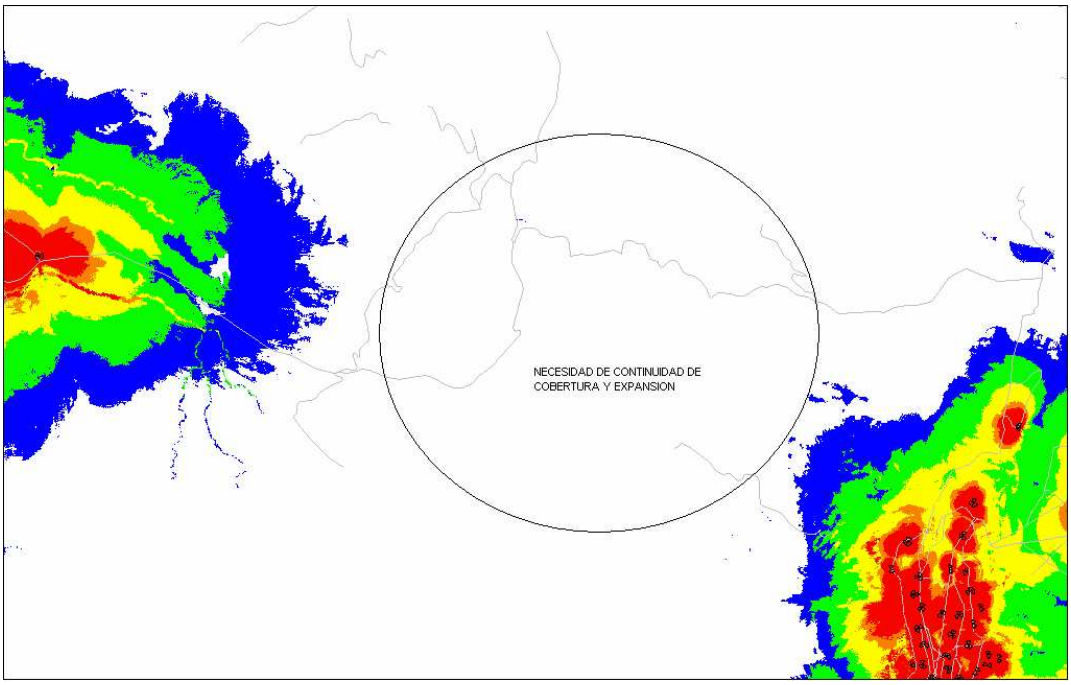


Figura 4.80 Necesidad de continuidad de Cobertura y Expansión de Red

b) El objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en:

Tal como se puede apreciar en la fig. 4.80, surge la necesidad de mejorar la calidad de la señal y dar una continuidad de la cobertura en la zona mostrada en la gráfica, a lo largo de una troncal de carretero.

c) Esta situación se solucionara mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH. Tomando en cuenta que estos sitios se rodean por zonas rurales, carreteros, zonas montañosas y de vegetación.

Entonces:

Para la PRIMERA FASE; poblaciones rurales y suburbanas con demanda de tráfico, se ubicarán 3 sitios en la zona donde las torres permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de carreteras serán de 2 sectores con apertura para zonas de carreteras de 30º de lóbulo horizontal y con celdas de 3 sectores para poblaciones rurales y suburbanas de 60º y con sus respectivos *azimuth* dirigidos para las zonas problemáticas de calidad de señal y falta de cobertura; quedando la configuración de los sitios de la siguiente manera:

SITIO 1 OESTE:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 120º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 315º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 30º

SITIO 2 CENTRO:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 0º, *Tilt* mecánico = 0º Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 30º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 100º, *Tilt* mecánico = 3º, por evitar interferencias lejanas o vecinas, Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo=60º.

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 250º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 3 ESTE:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 45º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 300º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 30º.

Para la SEGUNDA FASE; poblaciones rurales con menor demanda de tráfico y para dar una continuidad de una mejor cobertura, se ubicarán 3 sitios en la zona donde los torres permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de carreteras serán de 2 sectores con apertura para zonas de carreteras de 30º de lóbulo horizontal y con celdas de 3 sectores para poblaciones rurales de 60 º y con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas de calidad de señal y falta de cobertura; quedando la configuración de los sitios así:

SITIO 1 OESTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 20º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 330º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 2 CENTRO:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 10º, *Tilt* mecánico = 0º Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 90º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 30º.

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 300º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 30º

SITIO 3 ESTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 100º, *Tilt* mecánico = 0º Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 175º, *Tilt* mecánico = 0º Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 325º, *Tilt* mecánico = 1º; por estar dirigido a las zonas urbanas de la ciudad, Alturas de antenas = 36 m, Apertura lóbulo = 60º.

d) El resultado de la solución propuesta, se muestra en la fig. 4.81, en donde efectivamente se puede apreciar que se ha logrado mejorar la calidad de la señal y dar una continuidad de la cobertura a lo largo de la troncal del carretero, cumpliendo de esta manera con el objetivo planificado.

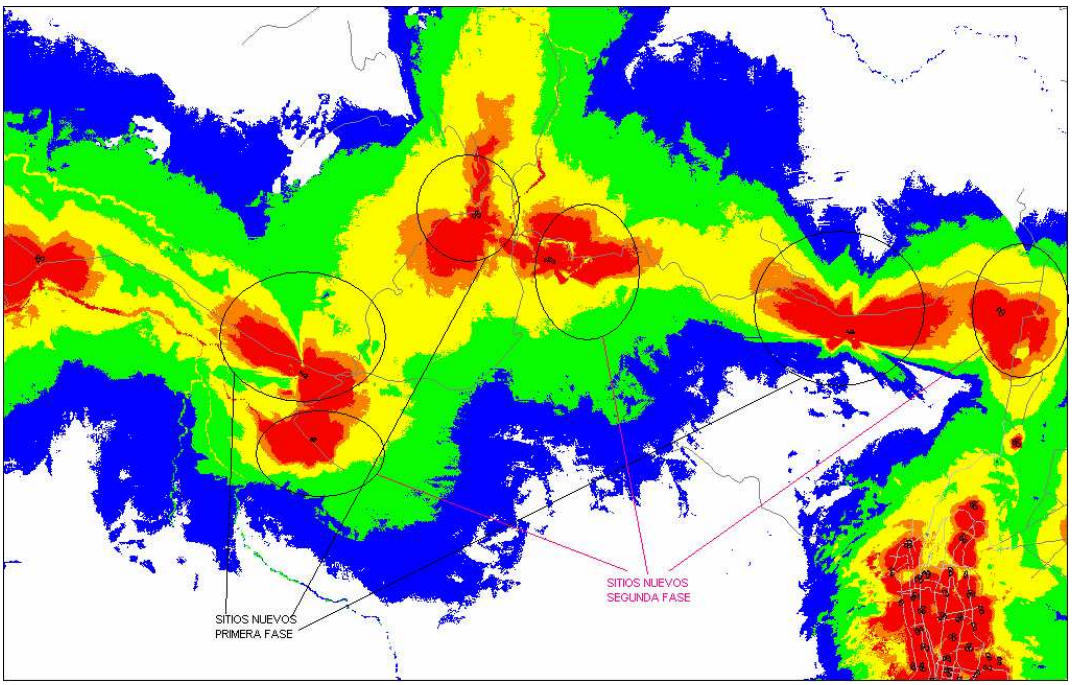


Figura 4.81 Ubicación de los nuevos sitios

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *drive test* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth*, *Tilts* eléctricos – mecánicos adicionalmente.

Nótese que la implementación de nuevos sitios en la red, incluye elevados costos adicionales por materiales de sistema de radiación, de construcciones civiles, eléctricos, de arrendamiento o compra de terrenos del sitio, etc. y una cuidadosa planeación de frecuencias BCCH y TCH.

4.3.8 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE SIMULACIÓN DE PLOTS DE COBERTURA O PREDICCIÓN DE COBERTURA TOMANDO EN CUENTA HUECOS DE COBERTURA

De acuerdo al estudio realizado en el Capítulo 3, a continuación se muestra un flujograma en el que se resumen los pasos que se deben seguir para optimizar cobertura mediante este método.

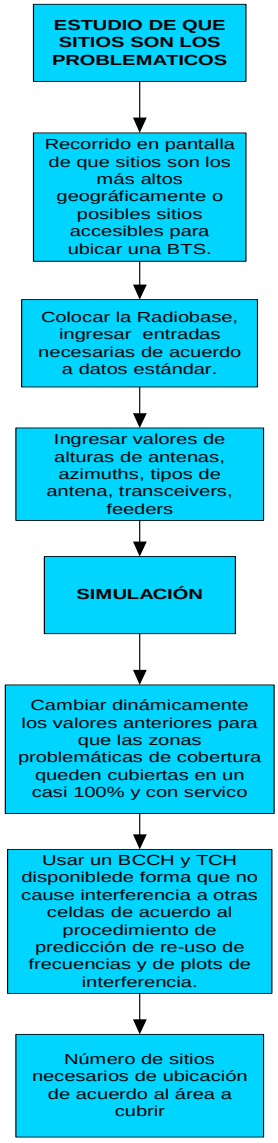


Figura 4.82 Optimización de Cobertura Mediante Simulación de Plots de Cobertura o Predicción de Cobertura tomando en cuenta huecos de cobertura

4.3.8.1 Primer caso:

a) Para este ejemplo, se asume la situación que se muestra en la fig. 4.83

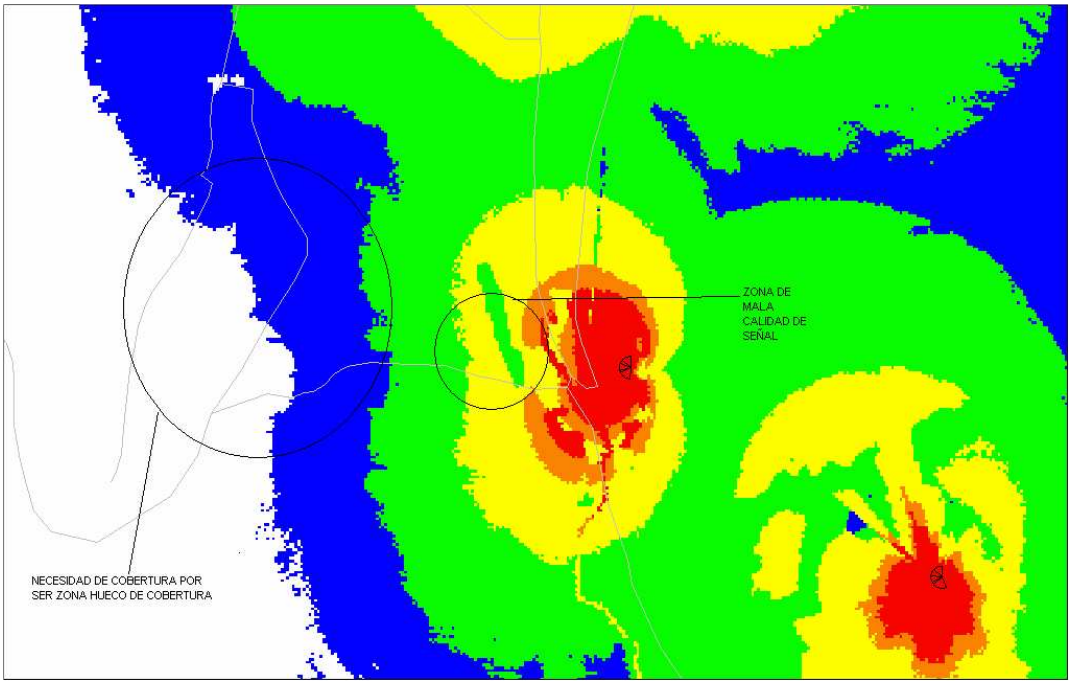


Figura 4.83 Zona que tiene hueco de cobertura

b) El objetivo de la optimización de la cobertura para este ejemplo, consiste en:

Observando la gráfica anterior, se puede apreciar claramente que se tiene la necesidad de mejorar la calidad de la señal y dar una continuidad de la cobertura a lo largo de una troncal de carretero.

c) Esta situación se la puede solucionar, mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH. Tomando en cuenta que estos sitios se encuentran rodeados por zonas rurales, carreteros, zonas montañosas y de vegetación.

Entonces, se procederá de la siguiente manera:

Se ubicarán 2 sitios en la zona donde las torres permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de carreteras serán de 2 sectores con

apertura para zonas de carreteras de 30º de lóbulo horizontal y con celdas de 3 sectores para poblaciones rurales y suburbanas de 60 º y con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas de calidad de señal y falta de cobertura; quedando la configuración de los sitios de la siguiente manera:

SITIO 1 OESTE.

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 60º, *Tilt* mecánico = 0º Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 30º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* =240º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* =315º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 2 ESTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 30º, *Tilt* mecánico = 1º, por evitar interferencias lejanas o vecinas, Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo=60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 100º, *Tilt* mecánico = 1º, por evitar interferencias lejanas o vecinas, Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo=60º.

El resultado de la solución planteada se muestra en la fig. 4.84, en la que efectivamente se puede ver que se ha conseguido mejorar la calidad de la señal y dar una continuidad de la cobertura a lo largo de la troncal del carretero, cubriendo de esta manera el hueco de obertura que se tenía anteriormente; con lo cual se cumple con el objetivo planificado anteriormente.

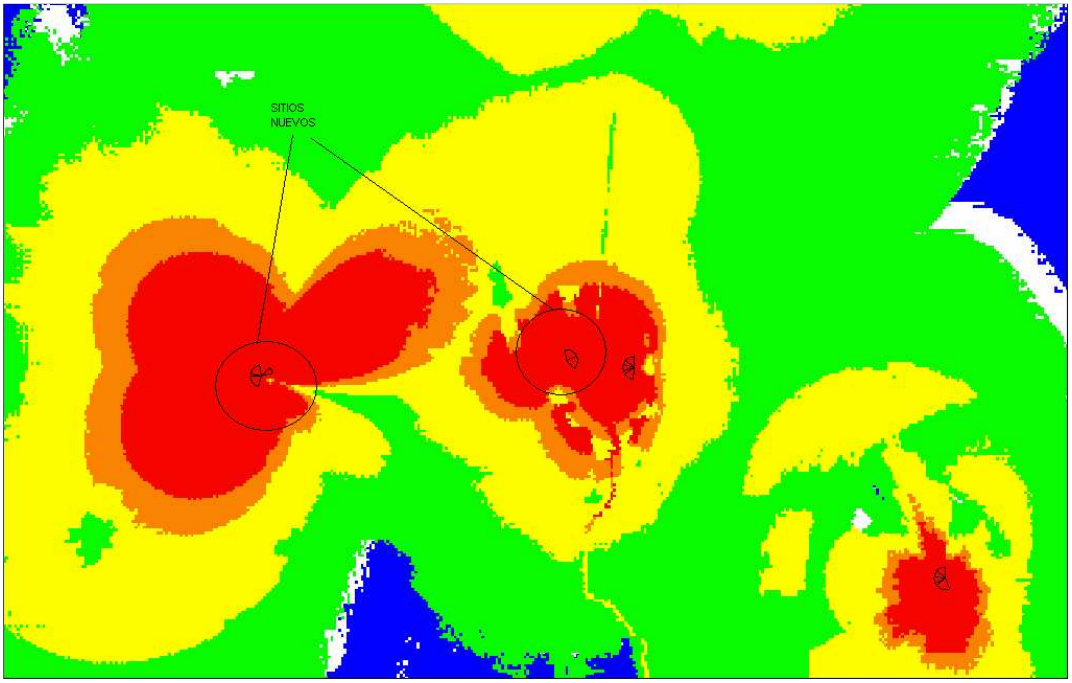


Figura 4.84 Ubicación de los nuevos sitios

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *drive tests* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth*, *Tilts* eléctricos – mecánicos adicionalmente.

Nótese que la implementación de nuevos sitios en la red, incluye costos adicionales altos por materiales de sistema de radiación, de construcciones civiles, eléctricos, de arrendamiento o compra de terrenos del sitio, etc. y una cuidadosa planeación de frecuencias BCCH y TCH.

4.3.8.2 Segundo caso

a) Para este ejemplo, se asume la situación que se muestra en la figura 4.85

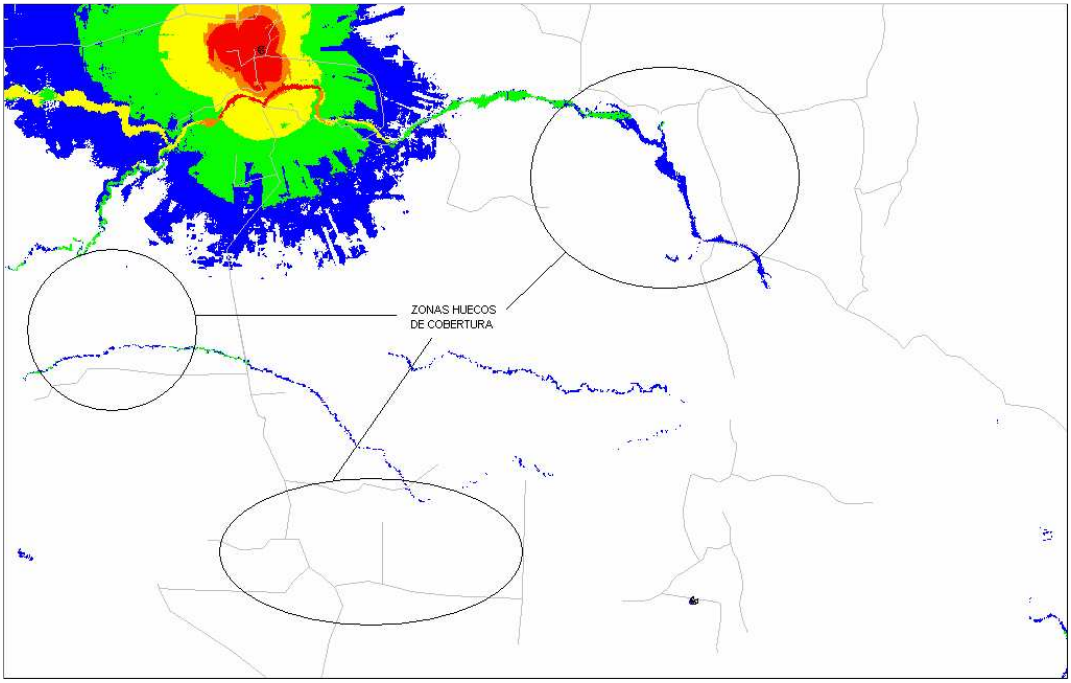


Figura 4.85 Zonas consideradas como huecos de Cobertura

b) El objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en: Como se puede apreciar claramente en el gráfico, existe la necesidad de dar una continuidad de la cobertura en la zona mostrada, a lo largo de una troncal de carretero.

c) Esta situación se la puede optimizar mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH. Tomando en cuenta que estos sitios están rodeados por zonas rurales, carreteros, zonas montañosas y de vegetación.

Entonces se procede a optimizar de la siguiente manera:

Para la **PRIMERA FASE:**

Poblaciones rurales y suburbanas con demanda de tráfico.

Se ubicarán 2 sitios en la zona donde las torres permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de carreteras serán de 2 sectores con apertura de lóbulo horizontal de 30º y con celda de 1 sector para población rural -

campamento, con apertura de 60º y con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas con falta de cobertura.

La configuración de los sitios queda de la siguiente manera:

SITIO 1 NORTE:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 125º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 90 m, Apertura lóbulo = 30º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 270º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 90 m, Apertura lóbulo = 30º

SITIO 2 SUR:

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 33º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 72 m, Apertura lóbulo = 60º

El resultado de la solución propuesta en la primera fase, se puede apreciar en la figura 4.86, en donde se ve que se ha logrado dar cobertura a los sitios de la parte norte y suroeste, cumpliendo con el objetivo planificado.

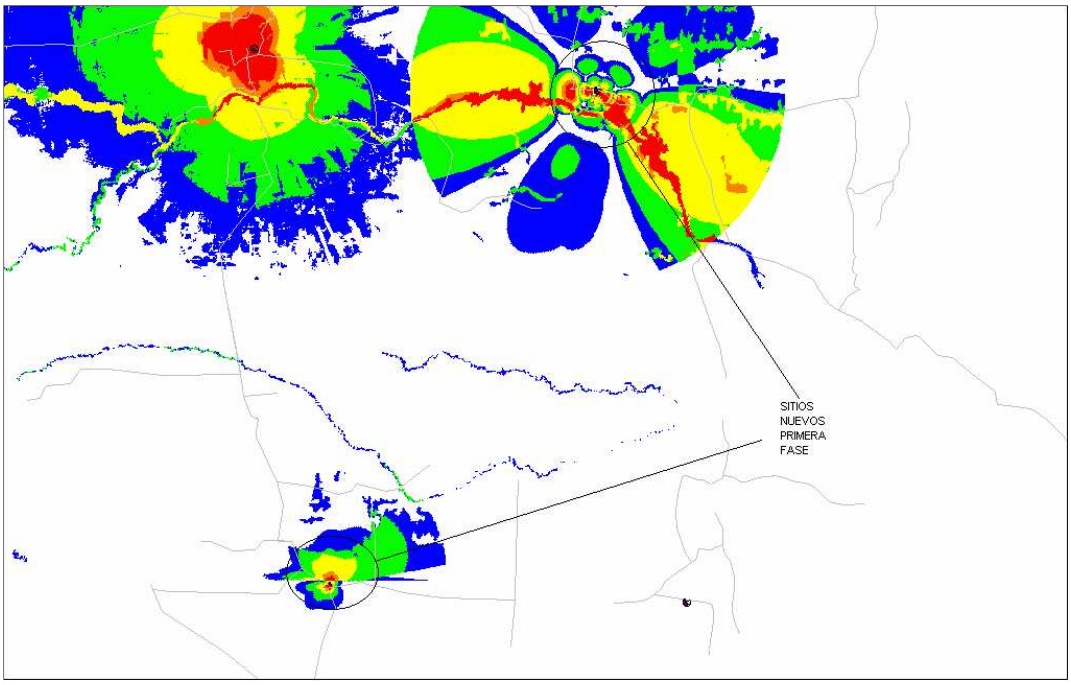


Figura 4.86 Sitios nuevos Primera Fase

Para la **SEGUNDA FASE:**

Poblaciones rurales con menor demanda de tráfico; y además para dar una mejor continuidad de cobertura.

Se ubicarán 1 sitio en la zona donde las torres permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de carreteras serán de 2 sectores con apertura hacia las zonas de carreteras de 30º de lóbulo y con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas con falta de cobertura.

La configuración de los sitios queda de la siguiente manera:

SITIO 1 OESTE:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 90º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 90 m, Apertura lóbulo = 30º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 260º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 90 m, Apertura lóbulo = 30º

El resultado de la solución propuesta para la segunda fase, se muestra en la fig. 4.87, en donde efectivamente se puede apreciar que se logró dar cobertura al sector oeste, cumpliendo también con el objetivo planificado.

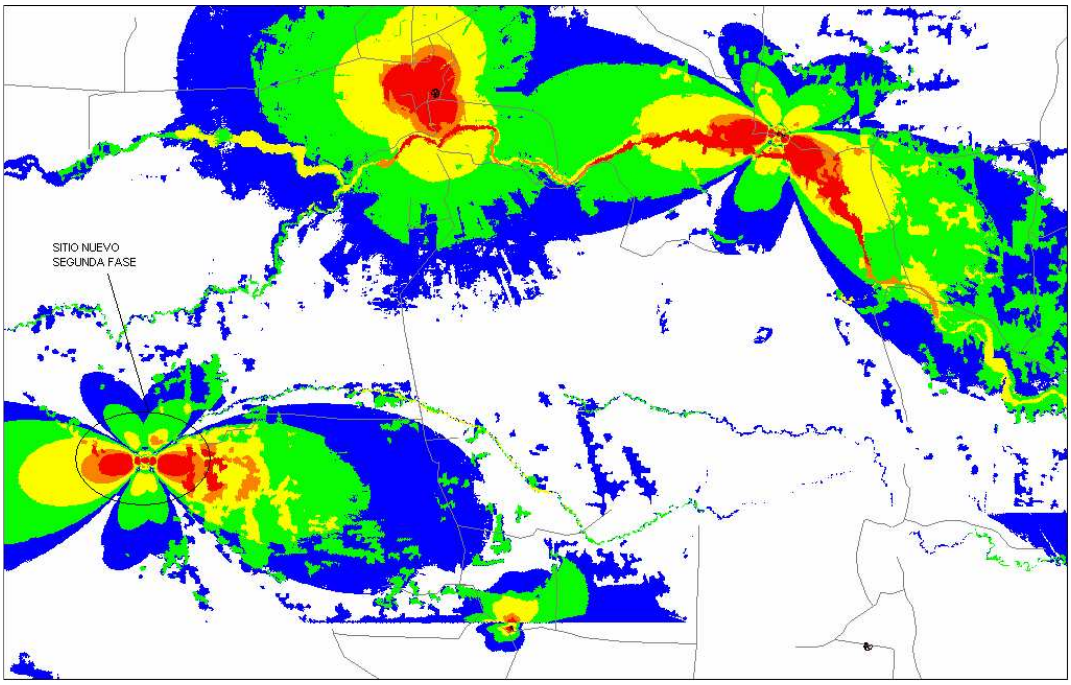


Figura 4.87 Sitios nuevos Segunda Fase

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *drive tests* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth*, *Tilts* eléctricos – mecánicos adicionalmente.

Nótese que la implementación de nuevos sitios en la red, incluye elevados costos adicionales por materiales de sistema de radiación, de construcciones civiles, eléctricos, de arrendamiento o compra de terrenos del sitio, etc. y una cuidadosa planeación de frecuencias BCCH y TCH.

4.3.8.3. Tercer caso

a) Para este ejemplo, se asume la situación que se muestra en el siguiente gráfico.

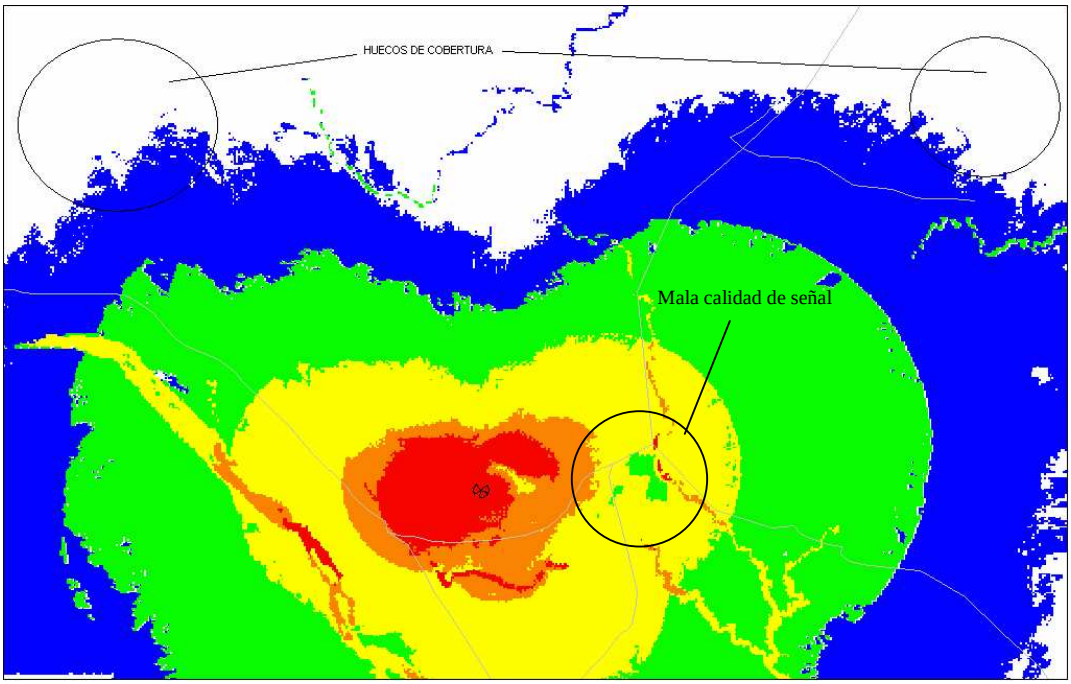


Figura 4.88 Zonas Hueco de Cobertura

b) El objetivo de la optimización de la cobertura para este método consiste en: De acuerdo a la fig 4.88, se puede apreciar que se tienen 2 huecos de cobertura, surge entonces la necesidad de dar cobertura en la zona de población rural mostrada.

c) Esta situación se solucionará mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH. Tomando en cuenta que los sitios están rodeados por zonas rurales, carreteros, zonas montañosas y de vegetación.

Entonces se procede a optimizar de la siguiente manera:

Se ubicarán 4 sitios en la zona donde los torres permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de carreteras serán de 2 sectores con apertura para zonas de carreteras de 30º de lóbulo horizontal y con celda de 1 sector para población rural - campamento, con apertura de 60º y con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas con falta de cobertura.
La configuración de los sitios queda de la siguiente manera:

SITIO 1 NORTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 40º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 30º
SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 220º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 30º

SITIO 2 SUR ESTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 350º, *Azimuth* = 125º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 30º
SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 170º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 3 CENTRO:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 350º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 50 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 100º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 50 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 280º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 50 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 4 OESTE:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 130º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 30º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, "*Azimuth*2 = 290º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 30º

El resultado de la solución propuesta se muestra en la fig. 4.89, en donde efectivamente se ve que se ha logrado cubrir los huecos de cobertura que se tenían anteriormente, cumpliendo con el objetivo planificado.

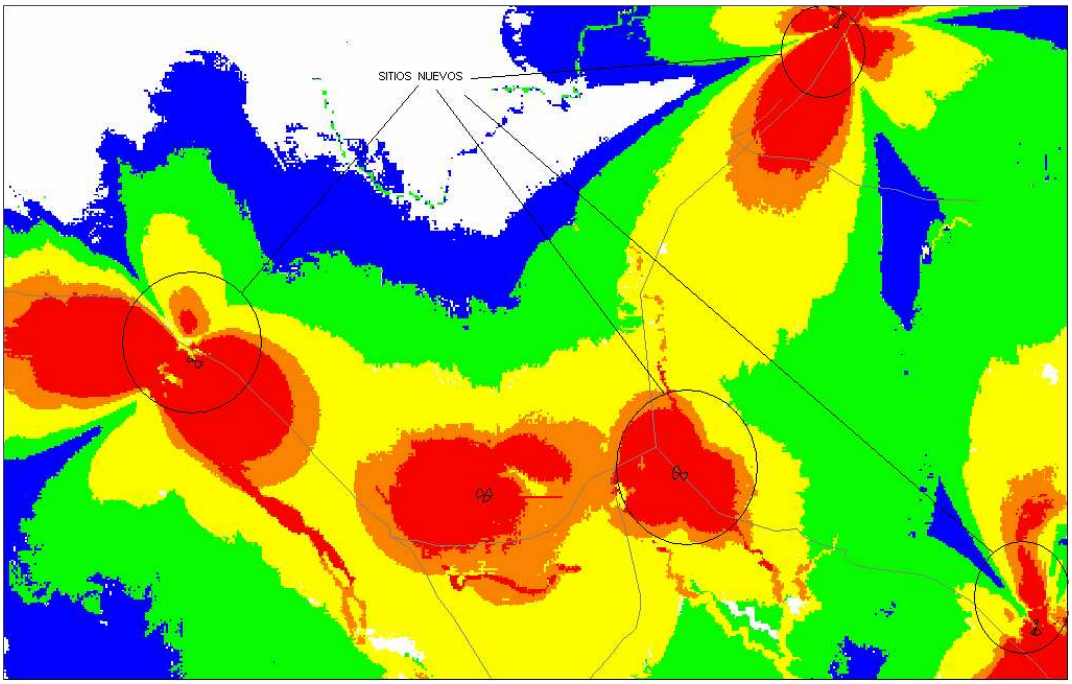


Figura 4.89 Ubicación de nuevos sitios

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *drive tests* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth*, *Tilts* eléctricos – mecánicos adicionalmente.

Nótese que la implementación de nuevos sitios en la red, incluye elevados costos adicionales por materiales de sistema de radiación, de construcciones civiles, eléctricos, de arrendamiento o compra de terrenos del sitio, etc. y una cuidadosa planeación de frecuencias BCCH y TCH.

4.3.8.4 Cuarto caso

a) Para este ejemplo, se asume la situación que se observa en la fig. 4.90

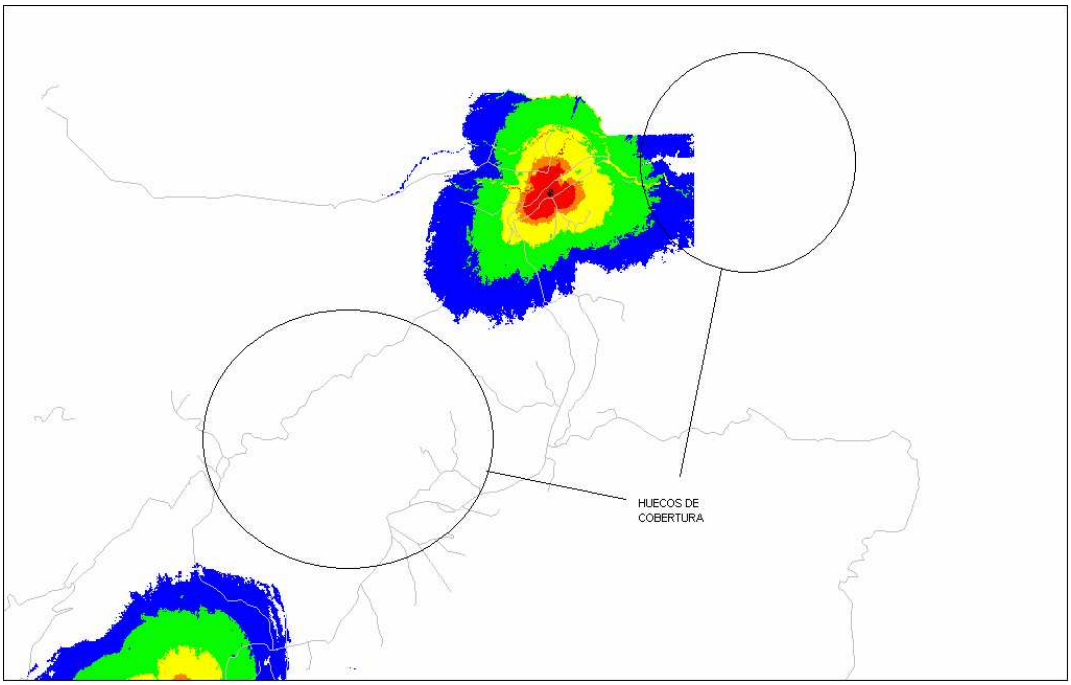


Figura 4.90 Zonas con huecos de Cobertura

b) El objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en:
Como se puede apreciar en la fig. 4.90, se tiene la necesidad de dar cobertura en la zona de población rural mostrada que son considerados huecos de cobertura.

c) Esta situación se solucionará mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH. Tomando en cuenta que los sitios se

encuentran rodeados por zonas rurales, carreteros, zonas montañosas y de vegetación.

Entonces se procede a optimizar de la siguiente manera:
Se ubicarán 2 sitios en la zona donde las torres permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de carreteras serán de 2 sectores con apertura hacia las zonas de carreteras de 30º de lóbulo horizontal y con celda de 3 sectores para población rural - campamento, con apertura de 60º con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas con falta de cobertura.
La configuración de los sitios queda de la siguiente manera:

SITIO 1 NORTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 85º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º
SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 300º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 2 SUR:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 95º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 72 m, Apertura lóbulo = 30º
SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 255º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 72 m, Apertura lóbulo = 30º
SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 300º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 72 m, Apertura lóbulo = 60º

d) El resultado de la solución que se planteó se puede observar en la fig. 4.91, en donde efectivamente se ve que se ha logrado brindar cobertura a los huecos de cobertura que antes existían, cumpliendo así con el objetivo planificado.

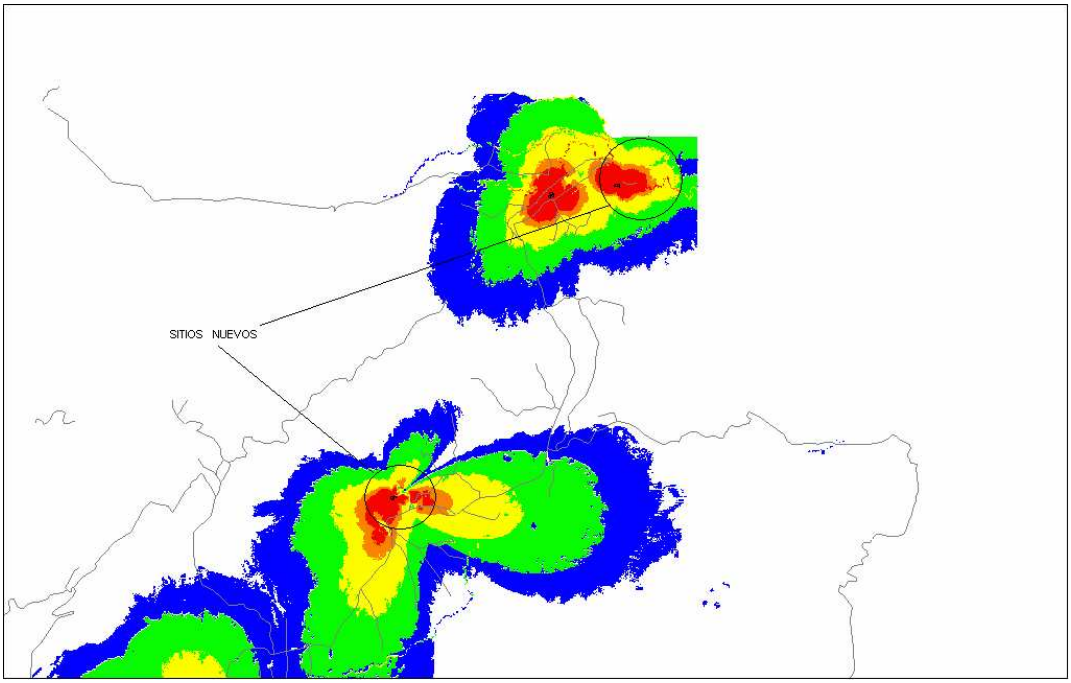


Figura 4.91 Ubicación de nuevos sitios

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *drive tests* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variaran valores de *azimuth*, *Tilts* eléctricos – mecánicos adicionalmente

Adicionalmente puede plantearse la implementación de un nuevo sitio en el área central con 3 sectores, 2 de los cuales apuntarían a las carreteras y dar una continuidad segura entre las celdas adyacentes, y el tercer sector apuntado a poblaciones rurales circundantes, la altura concretada sería la misma que el en sitio 2.

4.3.8.5 Quinto caso

a) Para este ejemplo, se asumen los siguientes datos:

Se tiene un ambiente en el que se sitúan varias poblaciones sin cobertura y con bajos niveles de señal, prestando atención a las zonas de importancia turística como Nanegalito, Mindo, Puerto Quito, Progreso y las zonas de carretero provincial de unión entre Pedro Vicente Maldonado y San Miguel

de los Bancos, Bancos y Mindo, Nanegalito – Bancos – Mindo, Puerto Quito y Pedro Vicente Maldonado, tal como se muestra en la fig. 4.92

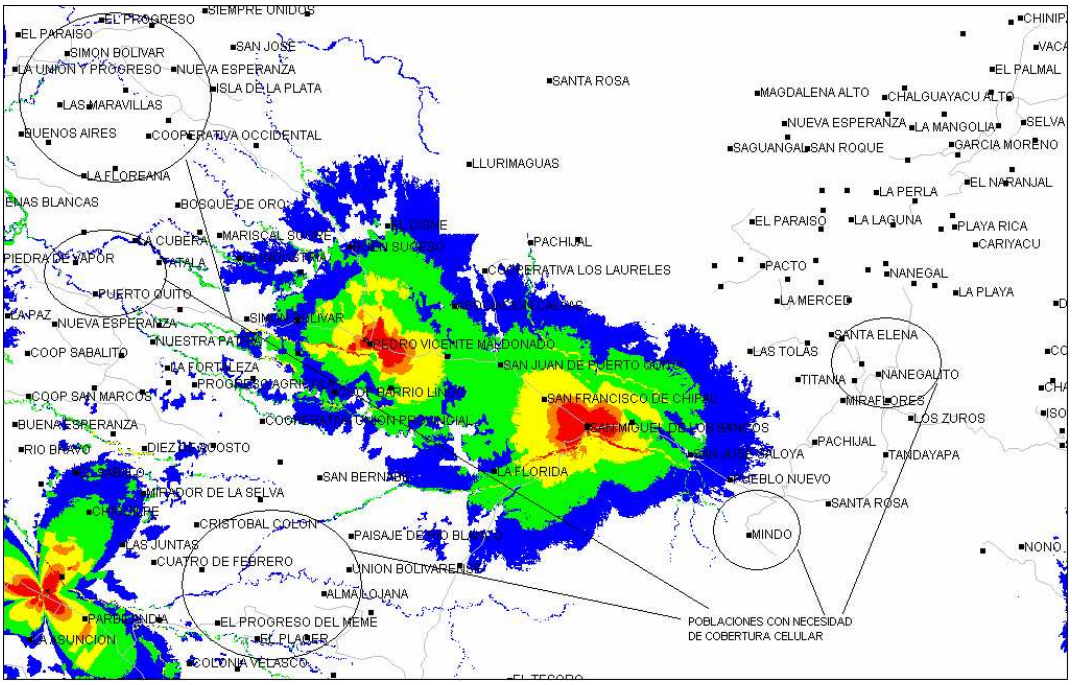


Figura 4.92 Poblaciones con necesidad de Cobertura Celular

b) El objetivo de optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en:

Surge la necesidad de dar cobertura en la zona de población rural mostrada en la gráfica, mediante la colocación de nuevos sitios y un adecuado plan de frecuencias BCCH.

c) Entonces se procede a optimizar de la siguiente manera:

Se ubicarán 7 sitios en la zona donde los torres permitan la implementación de la estación, además los sitios en la zona de carreteras serán de 2 sectores con apertura para zonas de carreteras de 30º de lóbulo horizontal y con celda de 3 sectores para población suburbana turística, con apertura de 60º y con sus respectivos *azimuth* dirigidos hacia las zonas problemáticas con falta de cobertura.

La configuración de los sitios queda de la siguiente manera:

SITIO 1 NOROESTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 0º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 120º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 270º, *Tilt* mecánico = 2º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 2 CENTROOESTE:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 110º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 50 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 250º, *Tilt* mecánico = 3º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 3 SUROESTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 50º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 50 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 120º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 50 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 230º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 50 m, Apertura lóbulo = 30º

SITIO 4 ESTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 0º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 42 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 85º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 42 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 300º, *Tilt* mecánico = 2º; Alturas de antenas = 42 m, Apertura lóbulo = 30º

SITIO 5 CENTROESTE:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 0º, *Tilt* mecánico = 1º, Alturas de antenas = 50 m, Apertura lóbulo = 30º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 240º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 50 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 6 CENTRAL1:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 45º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 300º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 7 CENTRAL2:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 120º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 310º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 48 m, Apertura lóbulo = 30º

El resultado de la solución propuesta se muestra en la fig. 4.93, en donde efectivamente se puede apreciar que se ha logrado brindar cobertura a las zona de población rural que por tratarse de un lugar turístico y altamente concurrido demandaban de cobertura celular, cumpliéndose así el objetivo planificado.

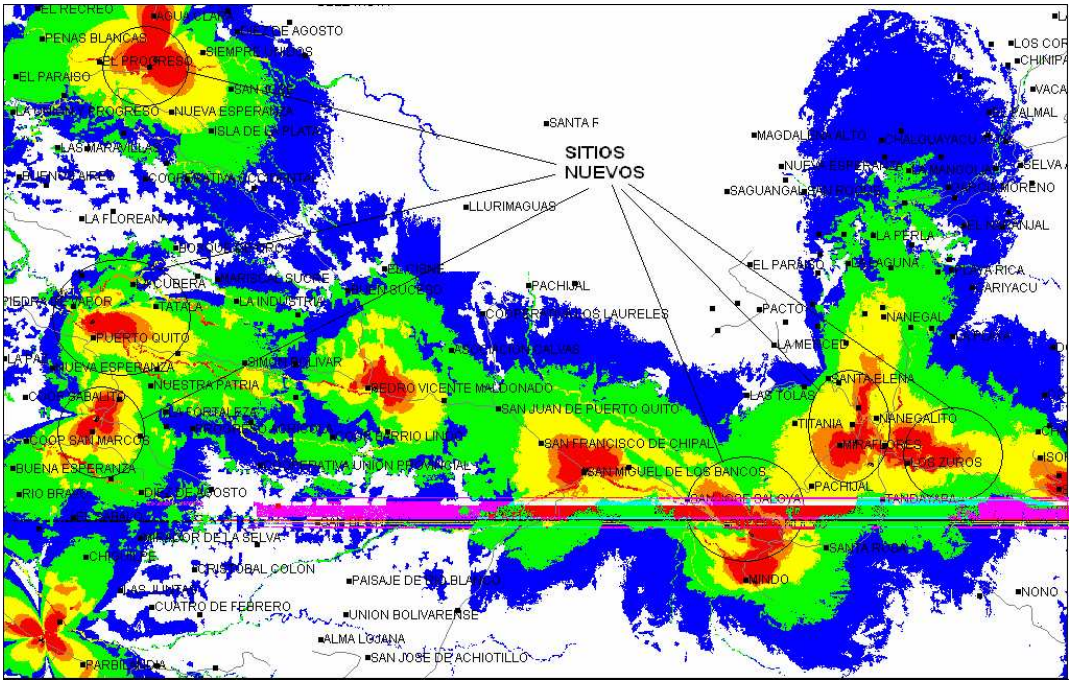


Figura 4.93 Ubicación de nuevos sitios

La diferencia de alturas de este ejemplo y los demás radica en la altitud medida en la herramienta de predicción y por razones de no causar interferencia lejana con otras celdas de similar BCCH.

Finalmente, se comprobará el éxito del cambio físico mediante el análisis con *drive tests* en las áreas de interés, si se necesita optimizar más se variarán valores de *azimuth*, *Tilts* eléctricos – mecánicos adicionalmente

4.3.8.6 Sexto caso

a) Para este ejemplo, se asumen los siguientes datos:

Se tiene el caso de 2 sitios ubicados de la siguiente manera:

El primero situado en el Norte, ubicado en zona de *clutter* de vegetación es decir, *clutter* rural; y el segundo en el sur, ubicado en el *clutter* urbano y semi-rural. Cada celda tiene 3 sectores y se brinda cobertura a las poblaciones circundantes, tal como se muestra en la fig. 4.94

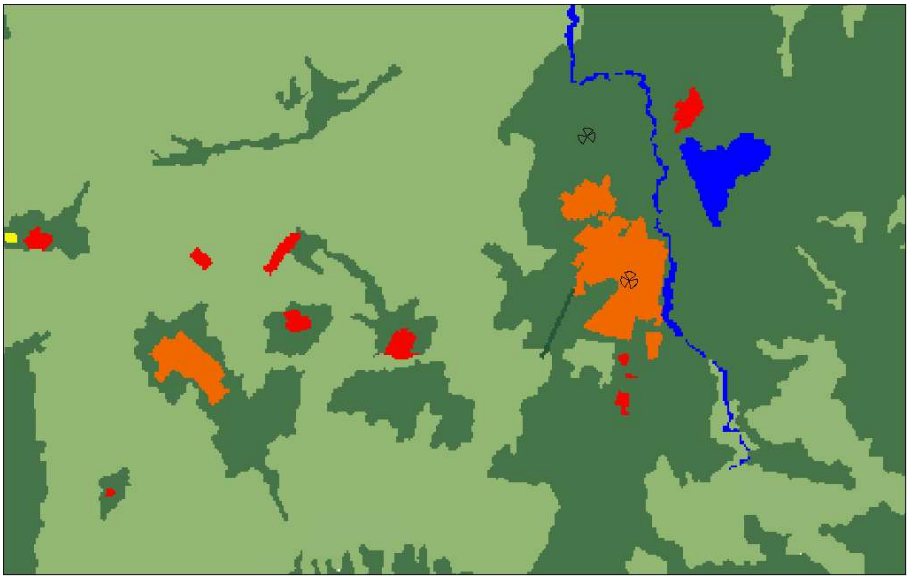


Figura 4.94 *Clutter* ejemplo del Caso 4.7.6

b) El objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en: Se tiene la necesidad de ubicar un sitio nuevo, con el propósito de cubrir la zona urbana de la parte oeste del mapa, la cual también cubrirá las zonas urbanas circundantes a esta que se rodean de los *clutters* rurales.

c) La solución que se propone es la siguiente:
Se tendrán 3 sectores en la nueva celda, apuntadas hacia las poblaciones objetivos, y su altura se deberá ponerlo alrededor de un valor alto para extender la cobertura lo mejor posible, las aperturas serán de acuerdo a las poblaciones urbanas.

Con lo cual la configuración de los nuevos sitios queda de la siguiente manera:

SITIO 1:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 0º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 90º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 80º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 250º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 60 m, Apertura lóbulo = 60º

c) La solución propuesta se muestra en la fig. 4.95, en donde efectivamente se puede observar que se ha logrado cubrir la zona urbana de la parte oeste del mapa, con lo cual también se cubre las zonas urbanas circundantes a esta que se rodean de los *clutters* rurales.

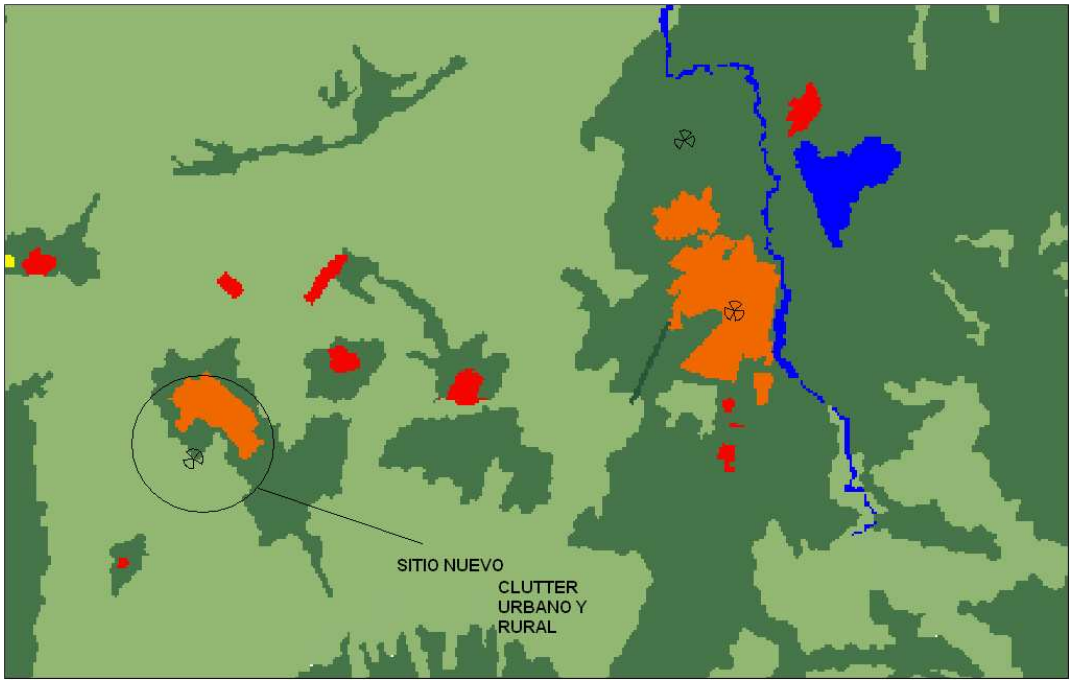


Figura 4.95 Ubicación de nuevos sitios

4.3.8.7 Séptimo caso

a) Para este ejemplo, se asumen los siguientes datos:

Se tiene el caso de un terreno en un *clutter* de tipo rural con ríos que cruzan por el lugar, caso típico del oriente, con poblaciones circundantes que requieren cobertura, tal como se muestra en la grafica 4.96.

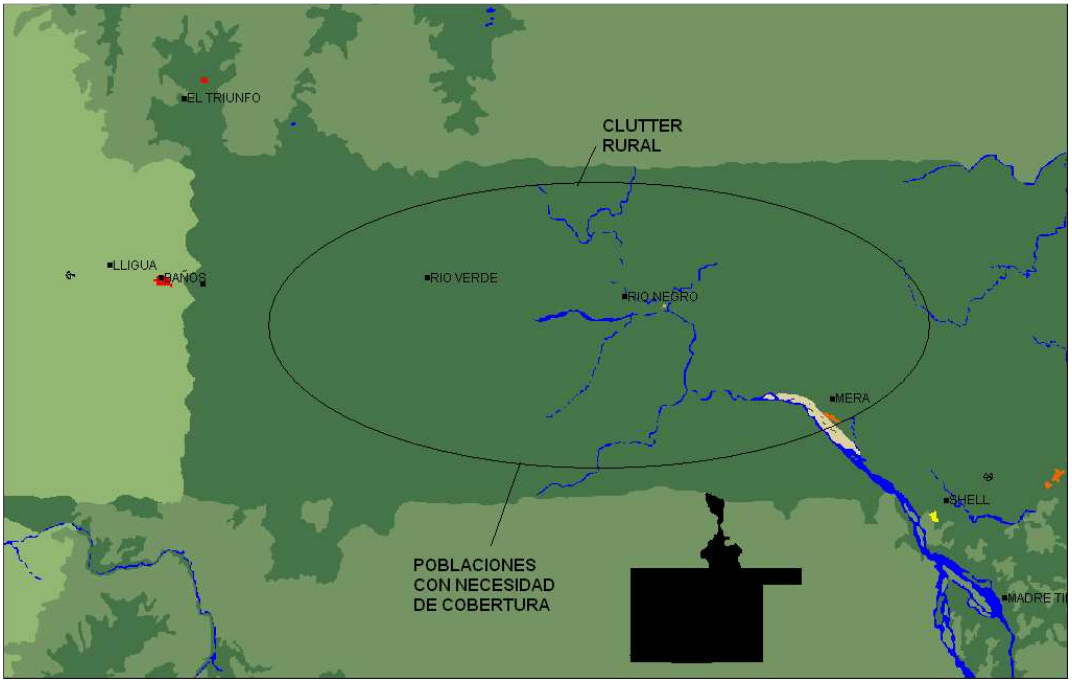


Figura 4.96 *Clutter* Rural

b) El Objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en: Surge la necesidad de ubicar dos sitios nuevos, para cubrir la zona rural de la parte oeste, centro y este del mapa, la cual también cubrirá las zonas de carreteros de interconexión circundantes a esta que se rodean de los "clusters" rurales.

c) La solución que se propone para este ejemplo es la siguiente:
Se tendrán 2 sectores en las nuevas celdas, apuntadas hacia las poblaciones objetivos y su altura se deberá ponerla alrededor de un valor alto para extender la cobertura lo mejor posible, las aperturas serán de acuerdo a las poblaciones rurales en el oriente.

La configuración de los nuevos sitios queda de la siguiente manera:

SITIO 1 Oeste:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 90º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 70 m, Apertura lóbulo = 30º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 260º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 70 m, Apertura lóbulo = 30º

SITIO 2 Este:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 0º, *Azimuth* = 110º, *Tilt* mecánico = 0º, Alturas de antenas = 90 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 270º, *Tilt* mecánico = 0º; Alturas de antenas = 90 m, Apertura lóbulo = 60º

d) El resultado de la solución propuesta se muestra en la fig. 4.97, en donde efectivamente se puede ver que se ha logrado cubrir la zona rural de la parte oeste, centro y este del mapa, la cual también cubre las zonas de carreteros de interconexión circundantes a esta que se rodean de los "clusters" rurales, cumpliendo de esta manera con el objetivo planificado anteriormente.

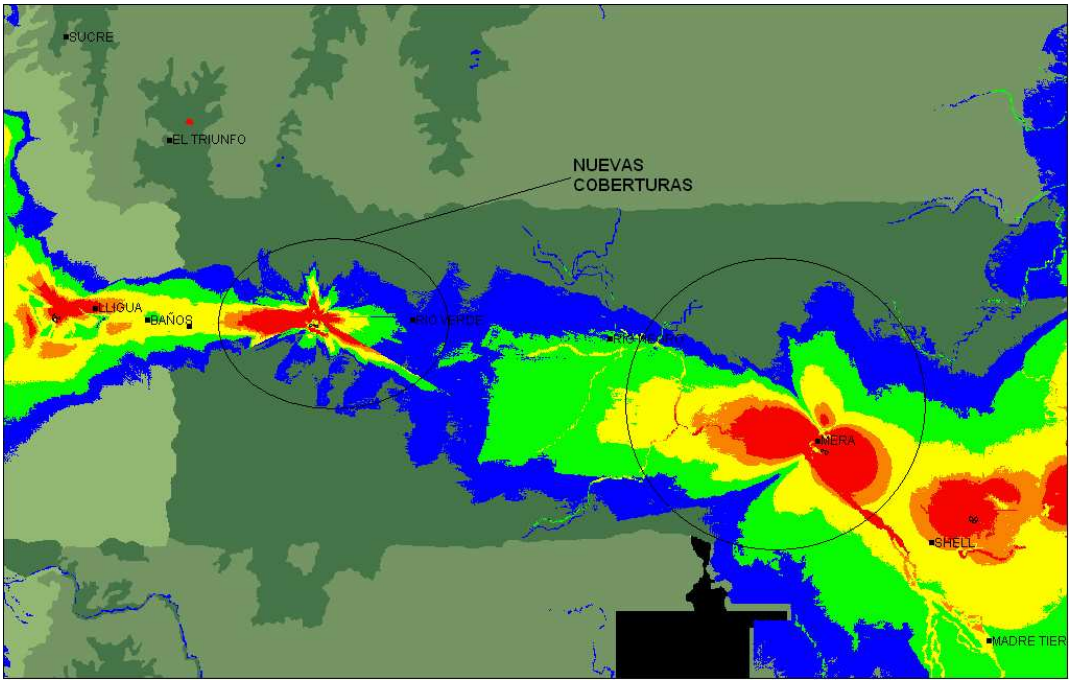


Figura 4.97 Zona con nuevas Coberturas

4.3.8.8 Octavo caso

a) Para este ejemplo, se asumen los siguientes datos:

Se tiene el caso de un terreno que es un *clutter* de tipo urbano, suburbano y rural, que son ubicados en la ciudad con una configuración inicial de

cobertura original de acuerdo a la figura 4.98 y en la figura 4.99 se muestra la cobertura que tienen los mismos:

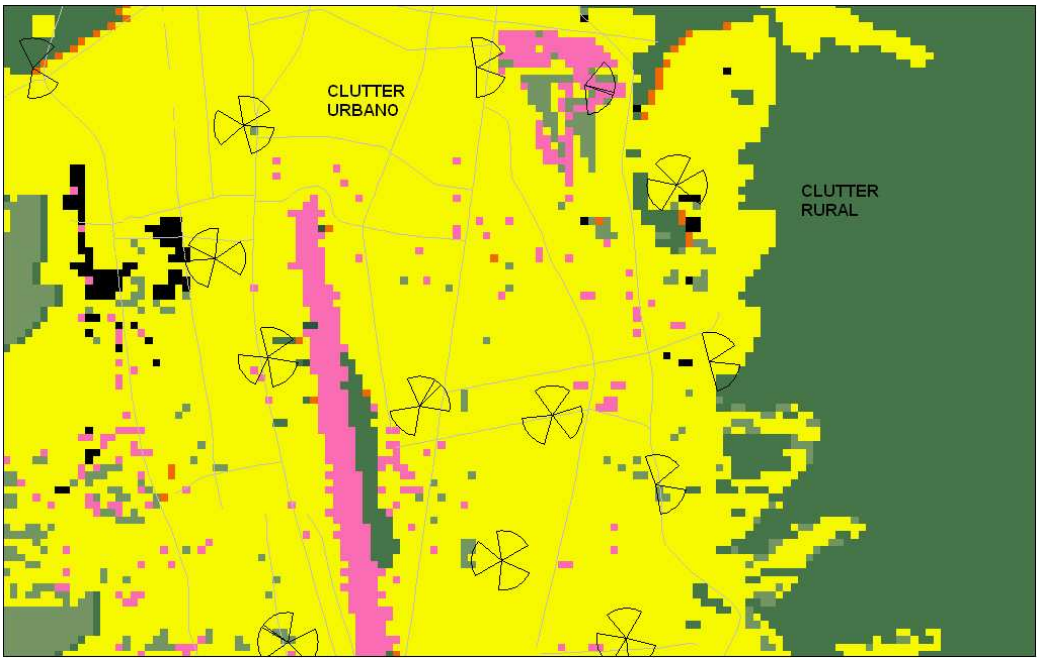


Figura 4.98 Ejemplo con *Clutter* Urbano, Suburbano y Rural

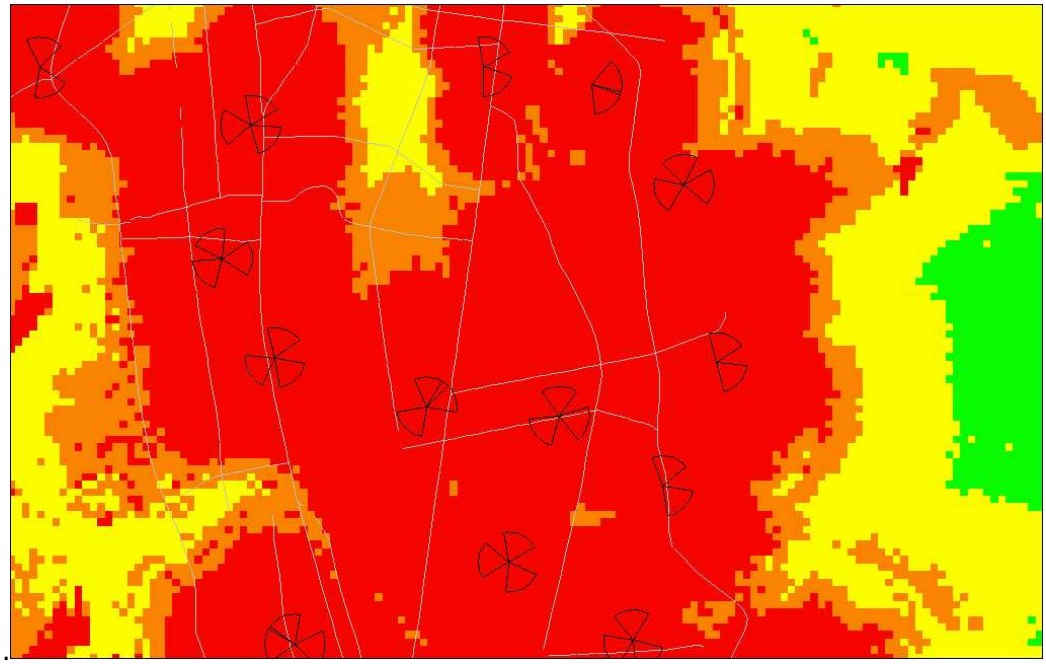


Figura 4.99 Cobertura de los sitios que se visualizan en el C*lutter* anterior

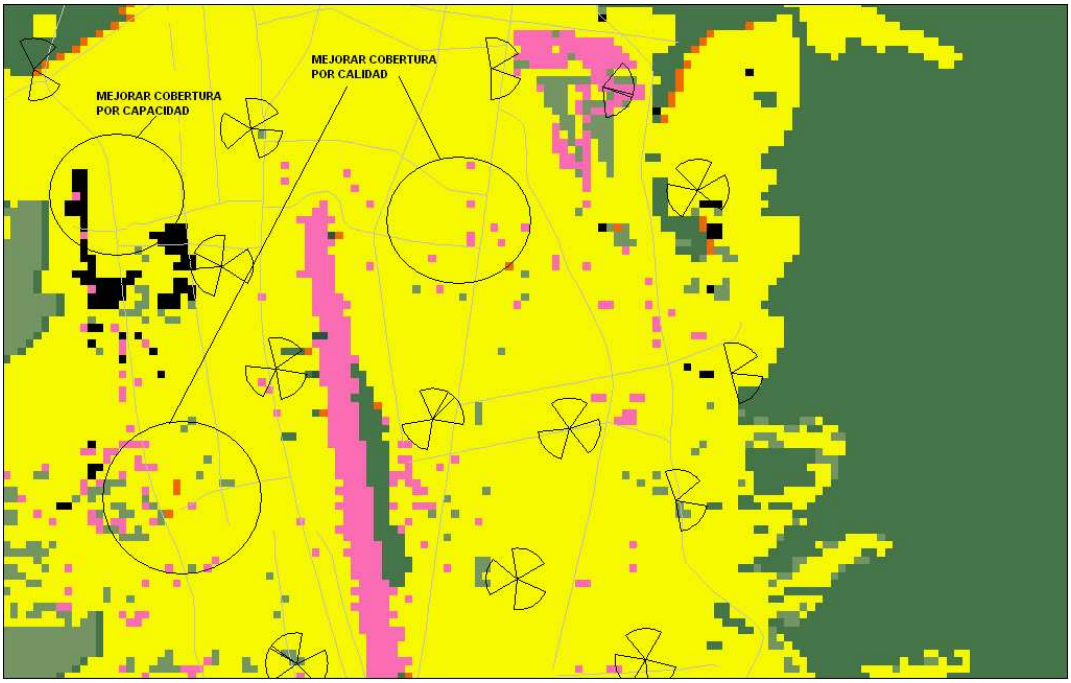


Figura 4.100 Zonas en las que es necesario mejorar Cobertura

b) El objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo, consiste en:
De a cuerdo a la figura 4.100, se asume que es necesario ubicar nuevos sitios para cubrir las zonas afectadas ya sea por interferencia, por bajos niveles de señal o por la demanda de tráfico.

c) La solución que se propone para el presente ejemplo, consiste en:
Se tendrán 2 y 3 sectores en las nuevas celdas, apuntadas hacia las zonas objetivos y su altura se deberá ponerla alrededor de un valor lo mejor posible para evitar interferencias co-canal y de canal adyacente con otras celdas urbanas, las aperturas serán de acuerdo a las que se tiene para poblaciones urbanas.

La configuración de los nuevos sitios, queda de la siguiente manera:

SITIO 1 Oeste:

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 90º, *Tilt* mecánico = 3º, Alturas de antenas = 24 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 260º, *Tilt* mecánico = 3º; Alturas de antenas = 24 m, Apertura lóbulo = 60º

SITIO 2 Este:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 110º, *Tilt* mecánico = 1º, Alturas de antenas = 32 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 2º, *Azimuth* = 270º, *Tilt* mecánico = 1º; Alturas de antenas = 32 m, Apertura lóbulo = 90º

SITIO 3 Sur:

SECTOR 1: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 40º, *Tilt* mecánico = 1º, Alturas de antenas = 36 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 2: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 270º, *Tilt* mecánico = 1º, Alturas de antenas = 36 m, Apertura lóbulo = 60º

SECTOR 3: *Tilt* eléctrico = 1º, *Azimuth* = 310º, *Tilt* mecánico = 1º; Alturas de antenas = 36 m, Apertura lóbulo = 60º

d) El resultado de la solución propuesta para este caso se puede apreciar en las siguientes figuras, en donde efectivamente se ve que el efecto logrado es cubrir las zonas afectadas ya sea por interferencia, por bajos niveles de señal o por la demanda de tráfico, cumpliendo con el objetivo planificado.

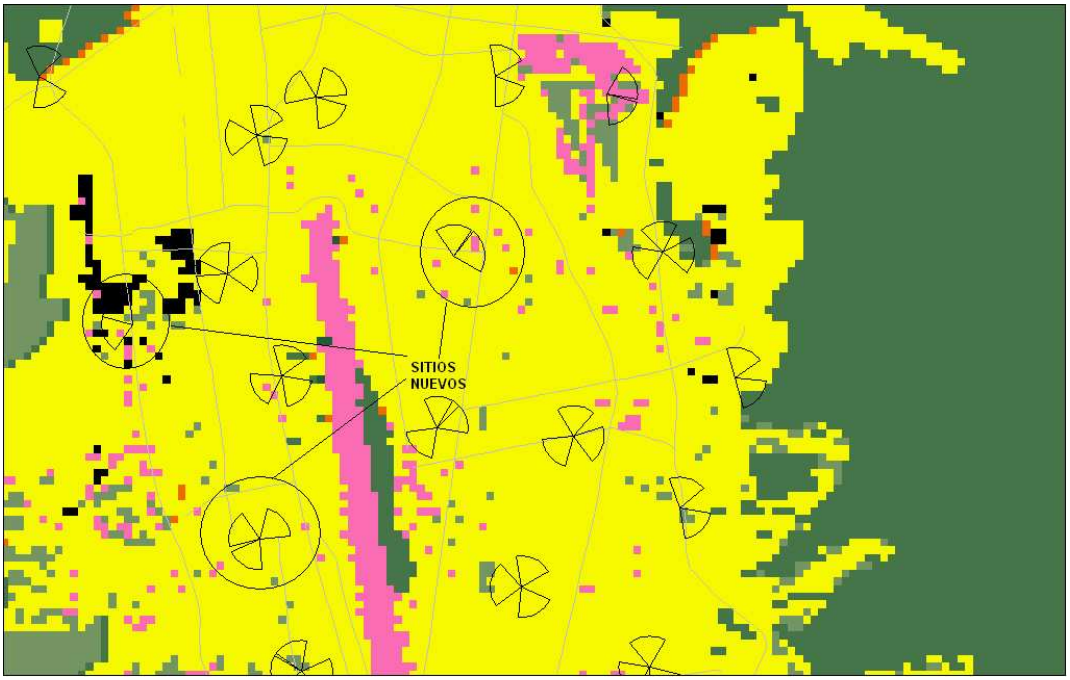


Figura 4.101 Ubicación de los nuevos Sitios

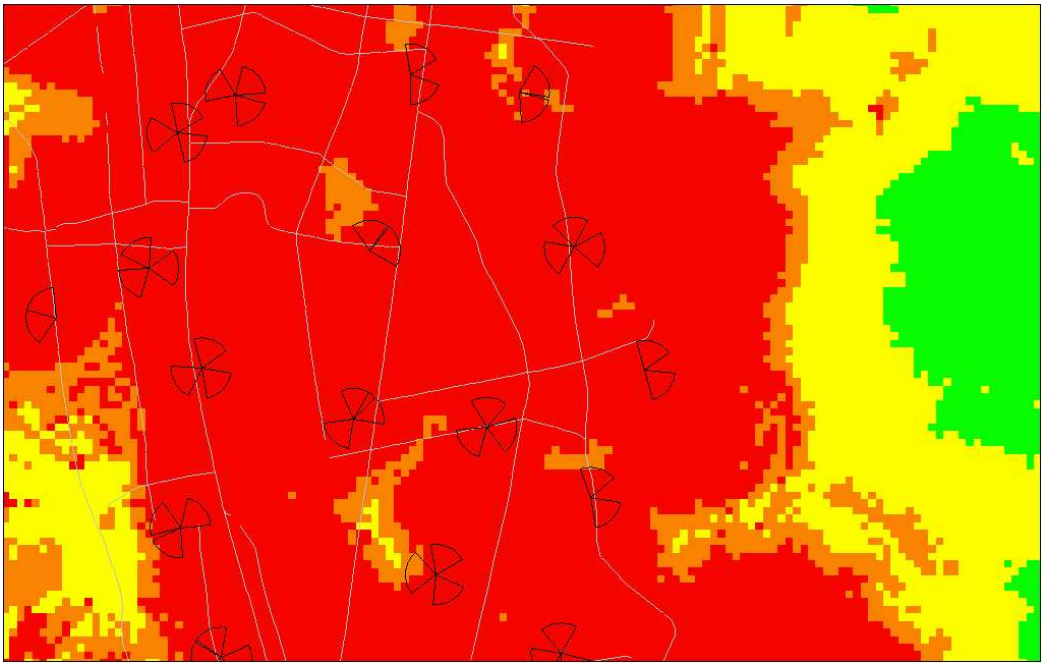


Figura 4.102 Cobertura de lo nuevos sitios

4.3.9 OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE ANALISIS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD

De acuerdo a lo que se estudió en el capítulo 3, a continuación se presenta un flujograma en el que se resumen los pasos que se deben seguir para optimizar cobertura mediante este método.

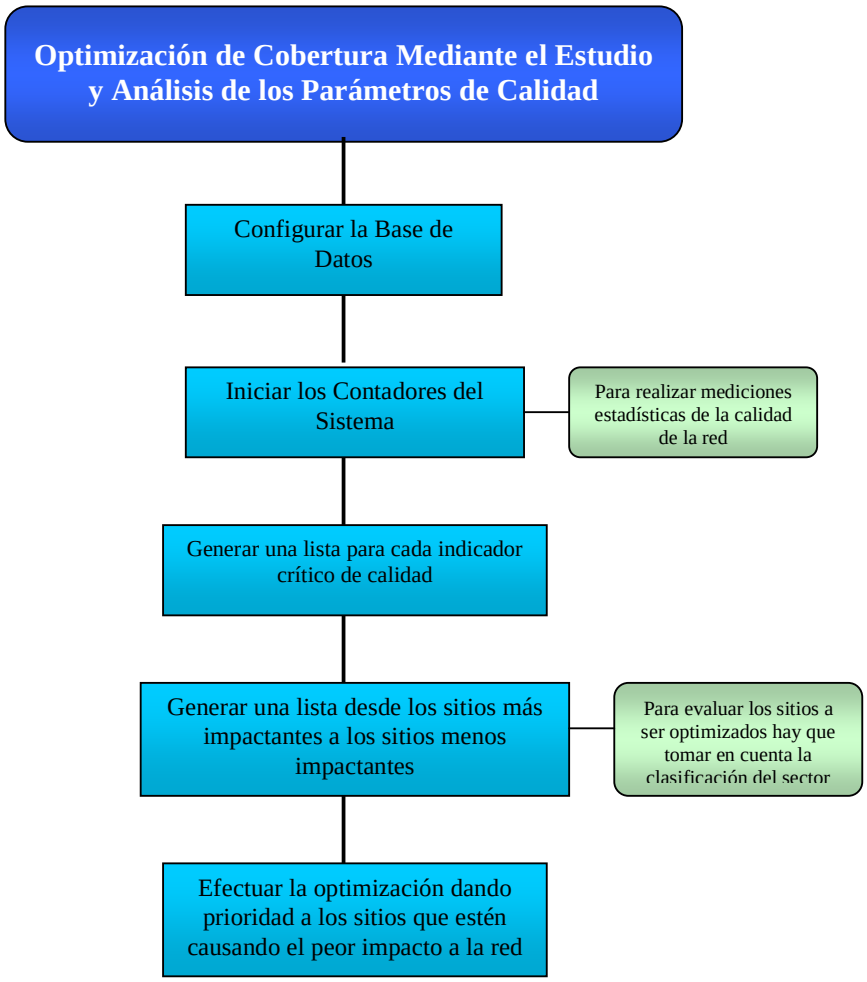


Figura 4.103 Diagrama de Flujo para la Optimización de Cobertura Mediante el Estudio y Análisis de los Parámetros de Calidad

a) Para este ejemplo, se asumen los siguientes datos:

Para un lugar dado, se consideran a los sitios A hasta el sitio S para que sean objeto de análisis de los siguientes parámetros de calidad:

- *TCH DROP RATE, TCH BLOCKING RATE*
- *SDCCH DROP RATE, SDCCH BLOCKING RATE, SDCCH UTILIZATION*
- *INTERCELL HO SUCCESFULL RATE, INTRACELL HO SUCCESFUL RATE, INTERBSCHOSUCCESFULRATE, DROPHORATE.*
- *FER, CSSUCCESFULRATE.*

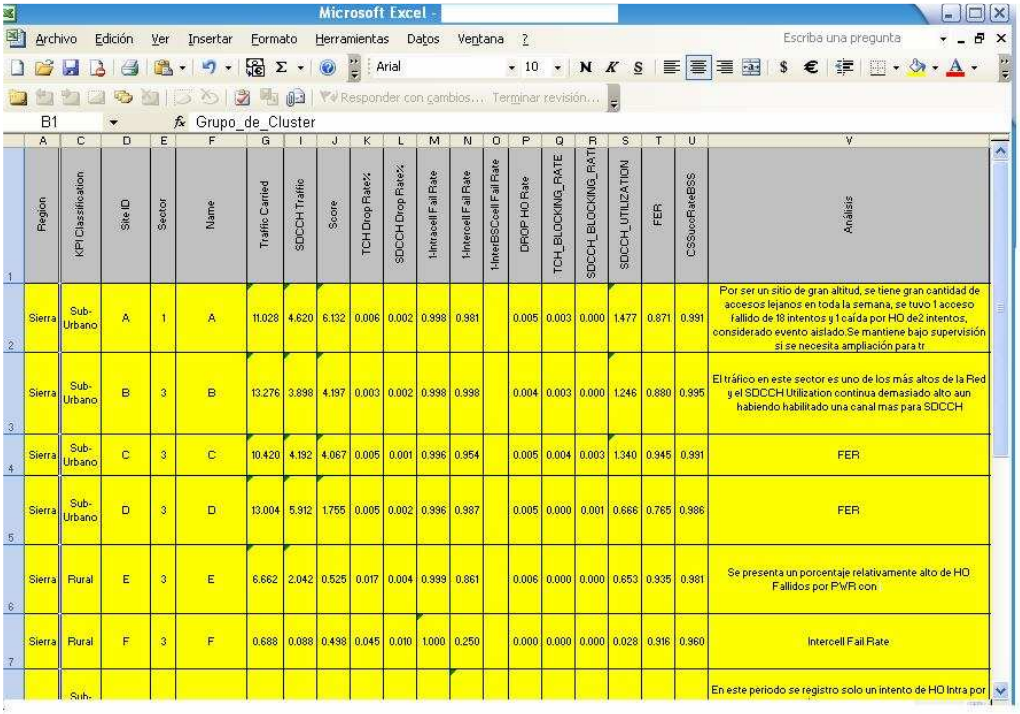
b) El Objetivo de la optimización de cobertura para este ejemplo consiste en:
Realizar un análisis mediante una herramienta de visualización de parámetros de calidad de la red, en conjunto con *drive tests* referentes a las zonas que cubren estos sitios y mediante los fundamentos teóricos de optimización y planeación se llegan a conclusiones para dar paso luego a soluciones que se deben tomar ya sea en hardware o software.

c) Procedimiento:
Se escogen los parámetros que no cumplen con los límites establecidos y se plantea un análisis en base a resultados semanales, diarios o en un determinado período con su comportamiento y se hace un seguimiento de cual fue la causa del problema del parámetro no cumplido mediante:

- Análisis del *performance* (desempeño) de los *Handovers*
- Análisis de los tipos de *handover* y sus porcentajes.
- Verificación de los valores de FER (*Frame Error Rate*), *Timing Advance* (ritmo de avance), *Hopping* con tráfico, graficas de cada uno de los parámetros relacionados con el peor KPI (*Key Performance Indicator*) o el mismo KPI, con detalles de las horas de comportamiento negativo.
- Verificación del comportamiento en *drive tests* y sobrelapamiento con los análisis en los parámetros de calidad.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS:

Una vez que se han recogido las estadísticas en un grupo de *cluster* para los sitios A hasta el sitio S se han obtenido los siguientes resultados que se muestran en las figuras 4.104 y 4.105 para el análisis respectivo.



Region	KPI Classification	Site ID	Sector	Name	Traffic Carried	SDCCH Traffic	Score	TCH Drop Rate%	SDCCH Drop Rate%	1-IntraCell Fail Rate	1-Intercell Fail Rate	1-InterBSCcell Fail Rate	DROP HO Rate	TCH_BLOCKING_RATE	SDCCH_BLOCKING_RATE	SDCCH_UTILIZATION	FER	CSSuccRateBSS	Análisis
Sierra	Sub-Urbano	A	1	A	11.028	4.620	6.132	0.006	0.002	0.998	0.981		0.005	0.003	0.000	1.477	0.871	0.991	Por ser un sitio de gran altitud, se tiene gran cantidad de accesos lejanos en toda la semana, se tuvo 1 acceso fallido de 18 intentos y 1 caída por HO de2 intentos, considerado evento aislado.Se mantiene bajo supervisión si se necesita ampliación para tr
Sierra	Sub-Urbano	B	3	B	13.276	3.898	4.197	0.003	0.002	0.998	0.998		0.004	0.003	0.000	1.246	0.880	0.995	El tráfico en este sector es uno de los más altos de la Red y el SDCCH Utilization continua demasiado alto aun habiendo habilitado una canal mas para SDCCH
Sierra	Sub-Urbano	C	3	C	10.420	4.192	4.067	0.005	0.001	0.996	0.954		0.005	0.004	0.003	1.340	0.945	0.991	FER
Sierra	Sub-Urbano	D	3	D	13.004	5.912	1.755	0.005	0.002	0.996	0.987		0.005	0.000	0.001	0.666	0.765	0.986	FER
Sierra	Rural	E	3	E	6.662	2.042	0.525	0.017	0.004	0.999	0.861		0.006	0.000	0.000	0.653	0.935	0.981	Se presenta un porcentaje relativamente alto de HO Fallidos por PWR con
Sierra	Rural	F	3	F	0.688	0.088	0.498	0.045	0.010	1.000	0.250		0.000	0.000	0.000	0.028	0.916	0.960	Intercell Fail Rate
	Sub-																		En este periodo se registro solo un intento de HO Intra por

Figura 4.104 Estadísticas de los Sitios A hasta el sitio F

Tanto la fig. 4.104 como la figura 4.105 muestran los siguientes datos recogidos:

Columna A: Región en la que se encuentra el sitio (Costa, Sierra, Oriente o Región Insular).

Columna C: Tipo de *Clutter* (Urbano, Suburbano, Rural o Carretaras).

Columna D: Identificación del Sitio (Site ID)

Columna E: Sector al que pertenece el parámetro a medir.

Columna F: Nombre del Sitio.

Columnas G hasta U: Parámetros de Calidad a medir (KPIs).

Columna V: Análisis de los KPIs.

El resultado de los datos obtenidos se muestran a continuación, para su correspondiente análisis:

Sitio A: Se detectan accesos lejanos, es decir interferencias de esta celda con otras situadas a gran distancia, esto es debido a la altura del sitio original. Los

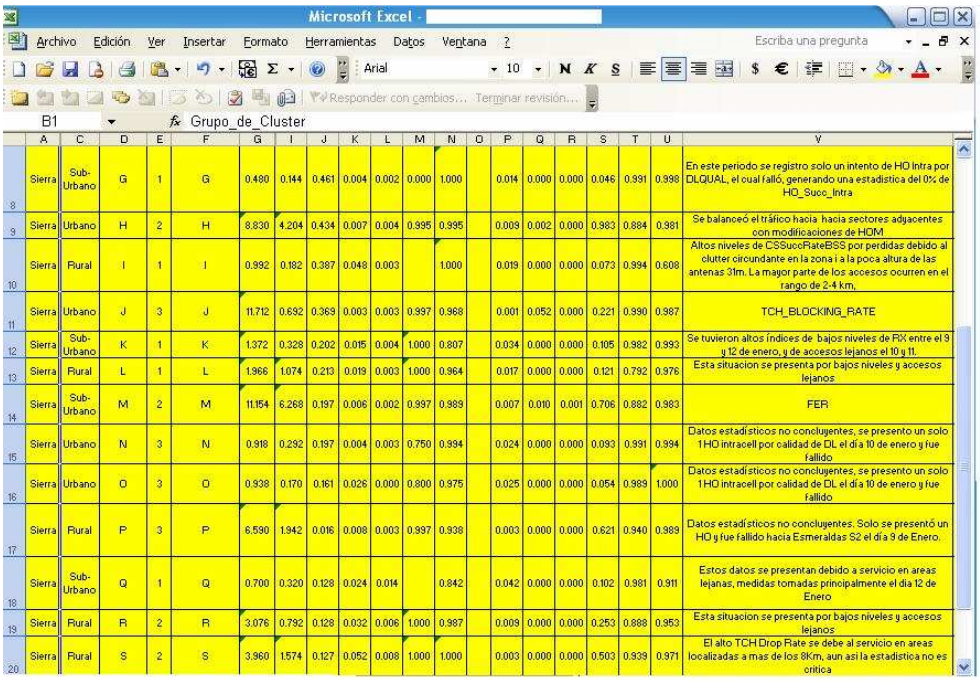
eventos aislados que se mencionan, se lo consideran por haber ocurrido en proporciones bajas menores a 8 -10 eventos totales del KPI.

Sitio B: Se detectan altos índices de tráfico en la señalización de las llamadas en el canal SDCCH, por lo que se necesitaría ampliar por software este canal.

Sitio C: Se detectan altos índices de FER, lo que se consideran posibles causantes son: interferencia co-canal, obstrucciones de la señal, bajos niveles de señal en línea de vista.

Sitio D: Similar al Sitio C.

Sitio E: Se detectan *Handover* fallidos por *PowerBudget*, es decir, *Handover* fallidos por Balance de la señal *Uplink* y *Downlink*; por lo que se necesitrá revisar el parámetro de software del *Handover* por *PowerBudget* o los parámetros de *PowerReduction* o RXLEVMIN, RXLEVAMIN.



	A	C	D	E	F	G	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
8	Sierra	Sub-Urbano	G	1	G	0.480	0.144	0.461	0.004	0.002	0.000	1.000		0.014	0.000	0.000	0.046	0.991	0.998	En este periodo se registro solo un intento de HO Intra por DLQUAL, el cual falló, generando una estadistica del 0% de HO_Succ_Intra
9	Sierra	Urbano	H	2	H	8.830	4.204	0.434	0.007	0.004	0.995	0.995		0.009	0.002	0.000	0.983	0.884	0.981	Se balanceó el tráfico hacia hacia sectores adyacentes con modificaciones de HOM
10	Sierra	Rural	I	1	I	0.992	0.182	0.387	0.048	0.003		1.000		0.019	0.000	0.000	0.073	0.994	0.608	Altos niveles de CSSuccRateBSS por perdidas debido al clutter circundante en la zona i a la poca altura de las antenas 31m. La mayor parte de los accesos ocurren en el rango de 2-4 km,
11	Sierra	Urbano	J	3	J	11.712	0.692	0.369	0.003	0.003	0.997	0.968		0.001	0.052	0.000	0.221	0.990	0.987	TCH_BLOCKING_RATE
12	Sierra	Sub-Urbano	K	1	K	1.372	0.328	0.202	0.015	0.004	1.000	0.807		0.034	0.000	0.000	0.105	0.982	0.993	Se tuvieron altos índices de bajos niveles de RX entre el 9 y 12 de enero, y de accesos lejanos el 10 y 11.
13	Sierra	Rural	L	1	L	1.966	1.074	0.213	0.019	0.003	1.000	0.964		0.017	0.000	0.000	0.121	0.792	0.976	Esta situacion se presenta por bajos niveles y accesos lejanos
14	Sierra	Sub-Urbano	M	2	M	11.154	6.268	0.197	0.006	0.002	0.997	0.989		0.007	0.010	0.001	0.706	0.882	0.983	FER
15	Sierra	Urbano	N	3	N	0.918	0.292	0.197	0.004	0.003	0.750	0.994		0.024	0.000	0.000	0.093	0.991	0.994	Datos estadísticos no concluyentes, se presento un solo 1 HO intracell por calidad de DL el día 10 de enero y fue fallido
16	Sierra	Urbano	O	3	O	0.938	0.170	0.161	0.026	0.000	0.800	0.975		0.025	0.000	0.000	0.054	0.989	1.000	Datos estadísticos no concluyentes, se presento un solo 1 HO intracell por calidad de DL el día 10 de enero y fue fallido
17	Sierra	Rural	P	3	P	6.590	1.942	0.016	0.008	0.003	0.997	0.938		0.003	0.000	0.000	0.621	0.940	0.989	Datos estadísticos no concluyentes. Solo se presentó un HO y fue fallido hacia Esmeraldas S2 el día 9 de Enero.
18	Sierra	Sub-Urbano	Q	1	Q	0.700	0.320	0.128	0.024	0.014		0.842		0.042	0.000	0.000	0.102	0.981	0.911	Estos datos se presentan debido a servicio en areas lejanas, medidas tomadas principalmente el día 12 de Enero
19	Sierra	Rural	R	2	R	3.076	0.792	0.128	0.032	0.006	1.000	0.987		0.009	0.000	0.000	0.253	0.888	0.953	Esta situacion se presenta por bajos niveles y accesos lejanos
20	Sierra	Rural	S	2	S	3.960	1.574	0.127	0.052	0.008	1.000	1.000		0.003	0.000	0.000	0.503	0.939	0.971	El alto TCH Drop Rate se debe al servicio en areas localizadas a mas de los 8Km, aun asi la estadistica no es critica

Figura 4.105 Estadísticas de los sitios G hasta el sitio S

<u>Sitio F</u>: Se detectan *Handover* fallidos inter-celdas, se debería averiguar con que celdas ocurrieron estos eventos en índice mayor y comparar con los *drive test* de la zona, para evaluar si se trata de interferencia co-canal o si se trata de problemas con los valores de parámetros entre las celdas vecinas.

<u>Sitio G</u>: Evento aislado.

<u>Sitio H</u>: Evento aislado.

<u>Sitio I</u>: Evento aislado.

<u>Sitio K</u>: Se detectan altos índices de bloqueo en el canal TCH por tráfico.

<u>Sitio L</u>: se detectan bajos niveles de recepción y accesos lejanos. Los bajos niveles de RX y accesos lejanos pueden deberse a interferencia co-canal de otra celda de similar BCCH del sector. Se debe comprobar con *drive test* de la zona particular.

Sitio M: se detectan índices altos de FER, debido a interferencia o bajo nivel de cobertura en la zona.

Sitio N: Evento aislado

Sitio O: Evento aislado

Sitio P: Evento aislado

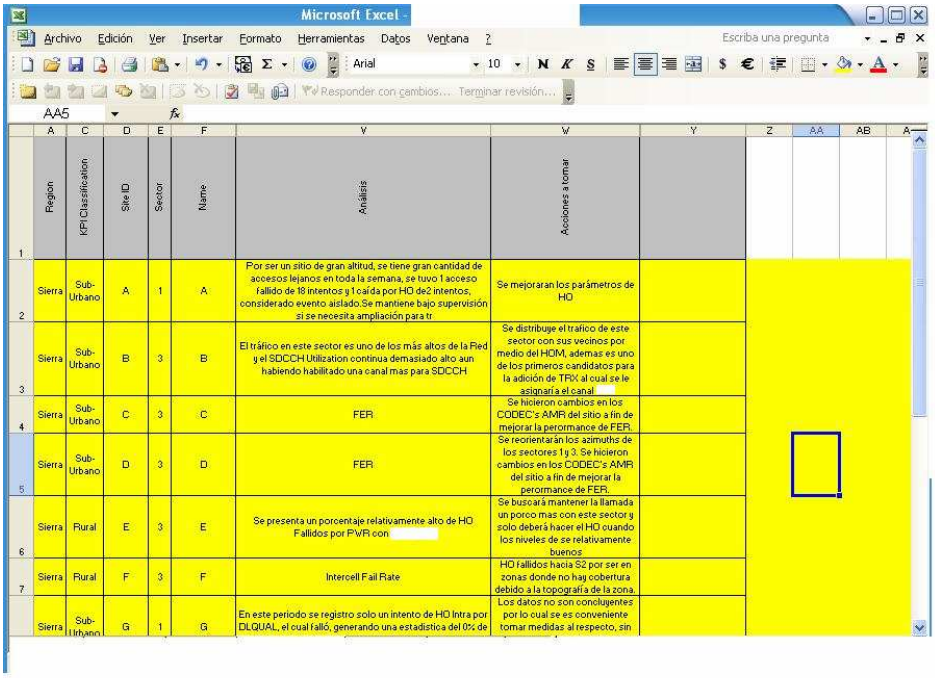
Sitio Q: Se detectan accesos lejanos por interferencia co-canal.

Sitio R: Se detectan bajos niveles de recepción y accesos lejanos. Los bajos niveles de RX y accesos lejanos pueden deberse a interferencia co-canal de otra celda de similar BCCH del sector. Se debe comprobar con *drive test* de la zona particular.

Sitio S: Se detectan altos índices de tasa de caídas del TCH, por que la celda es mejor servidora en áreas lejanas. Se necesitaría revisar los parámetros de *Handover* con otros vecinos y controlar la cobertura en áreas lejanas a la misma. Se debe comprobar con *drive test* de la zona particular.

SOLUCIONES A TOMARSE:

Una vez realizado el correspondiente análisis de los KPIs, se procede a tomar las siguientes medidas con el objetivo de optimizar la cobertura en la Red, estas soluciones se muestran en resumen en la columna W de las fig. 4.106 y 4.107 y se detallan un poco más a continuación:



Region	KPI Classification	Site ID	Sector	Name	Análisis	Acciones a tomar	
Sierra	Sub-Urbano	A	1	A	Por ser un sitio de gran altitud, se tiene gran cantidad de accesos lejanos en toda la semana, se tuvo 1 acceso fallido de 18 intentos y 1 caída por HO de2 intentos, considerado evento aislado.Se mantiene bajo supervisión si se necesita ampliación para tr	Se mejoraran los parámetros de HO	
Sierra	Sub-Urbano	B	3	B	El tráfico en este sector es uno de los más altos de la Red y el SDCCH Utilization continua demasiado alto aun habiendo habilitado una canal mas para SDCCH	Se distribuye el trafico de este sector con sus vecinos por medio del HOM, ademas es uno de los primeros candidatos para la adición de TRX al cual se le asignaría el canal.	
Sierra	Sub-Urbano	C	3	C	FER	Se hicieron cambios en los CODEC's AMR del sitio a fin de mejorar la perormance de FER.	
Sierra	Sub-Urbano	D	3	D	FER	Se reorientarán los azimuths de los sectores 1 y 3. Se hicieron cambios en los CODEC's AMR del sitio a fin de mejorar la perormance de FER.	
Sierra	Rural	E	3	E	Se presenta un porcentaje relativamente alto de HO Fallidos por PWR con	Se buscará mantener la llamada un poroo mas con este sector y solo deberá hacer el HO cuando los niveles de se relativamente buenos	
Sierra	Rural	F	3	F	Intercell Fail Rate	HO fallidos hacia S2 por ser en zonas donde no hay cobertura debido a la topografía de la zona.	
Sierra	Sub-Urbano	G	1	G	En este periodo se registro solo un intento de HO Intra por DLQUAL, el cual falló, generando una estadistica del 0% de	Los datos no son conciliguentes por lo cual se es conveniente tomar medidas al respecto, sin	

Figura 4.106 Análisis de Resultados y Soluciones Sitios A – G

<u>Sitio A</u>: Se mejorará los resultados mediante cambios en los márgenes de *Handover* entre la celda A y las vecinas, las cuales se relacionan con los *Handover* fallidos.

<u>Sitio B</u>: Se mejorará las estadísticas mediante cambios en los márgenes de *Handover* entre la celda B y las vecinas para que el tráfico se maneje adecuadamente, además se hará una ampliación de capacidad mediante TRX adicionales en el sector para una distribución de tráfico efectiva.

<u>Sitio C</u>: En este caso el FER es causado por la disminución del nivel de Rx al tener AMR (Adaptive Multi Rate) “Half Rate” y sus tipos y no AMR “Full Rate”,” Enhanced” Full Rate.

<u>Sitio D</u>: En este caso el FER es causado por la disminución del nivel de Rx al tener AMR “Half Rate” y sus tipos y no AMR “Full Rate”, “Enhanced” Full Rate.

Pero adicionalmente se necesita cambiar los *azimuths* de los sectores de la celda.

Sitio E: Se variarán los parámetros de *Handover* con la celda vecina relacionada.

Sitio F: Mejorar la señal con nueva solución de cobertura o con variación de parámetros físicos de la antena apuntada a la zona de esta celda.

Sitio G: Evento aislado.

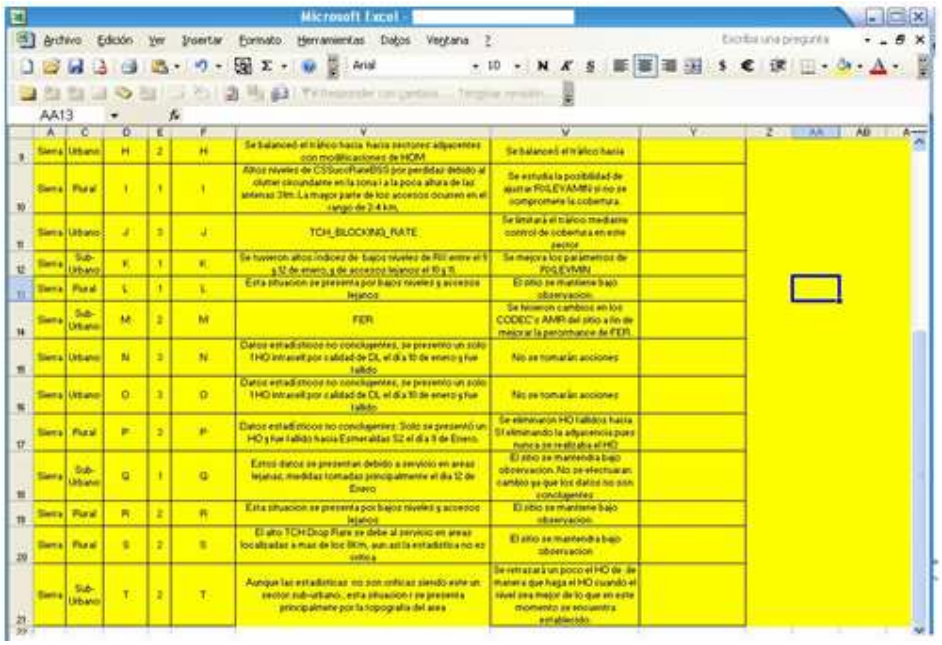


Figura 4.107 Análisis de Resultados y Soluciones Sitios H - S

Sitio H: Evento aislado.

Sitio I: Evento aislado. Pero se podría variar el parámetro de software de mínimo nivel de recepción para acceder a las llamadas.

Sitio J: Se controlará la cobertura con cambios en los *Tilt* eléctricos o mecánicos del sector apuntado a la zona problemática.

Sitio K: Se mejorarán el parámetro de software de mínimo nivel de recepción para elección de la celda servidora.

Sitio L: Evento aislado.

Sitio M: Se cambian los tipos de *Codecs* de AMR, es decir, se eligen otras velocidades en Kbps de los *codecs*.

Sitio N: Evento aislado

Sitio O: Evento aislado

Sitio P: Eliminación de vecindades de la celda, para evitar Handover fallidos.

Sitio Q: Evento aislado.

Sitio R: Se detectan bajos niveles de recepción y accesos lejanos. Los bajos niveles de RX y accesos lejanos pueden deberse a interferencia co-canal de otra celda de similar BCCH del sector. Se debe comprobar con *drive test* de la zona particular.

Sitio S: se detectan altos índices tasa de caídas del TCH, por que la celda es mejor servidora en áreas lejanas. Se necesitaría revisar los parámetros de Handover con otros vecinos y controlar la cobertura en áreas lejanas a la misma. Se debe comprobar con *drive test* de la zona particular.

4.3.10 ESTIMACIÓN DE COSTOS REFERENCIALES DE LOS MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA CITADOS EN ESTE CAPÍTULO

En este punto se hace la estimación de costos referenciales de los métodos de optimización de cobertura que se consideraron en el presente capítulo. Para realizar esta estimación se han tomado en cuenta los siguientes componentes:

- Salarios.
- Viáticos y horas extras.
- Costos de expertos y de consultoría.
- Costos de mantenimiento de equipos.
- Varios (Luz, agua, teléfono, administrativos, etc)

En la siguiente tabla se detalla la estimación de costos referenciales de los métodos de optimización de Cobertura de los ejemplos que fueron objeto de las simulaciones:

ITEMS CONSIDERADOS	MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA								
	Sectorización	Micro-celdas	*Drive test* y Análisis de parámetros de calidad	Manipulación de antenas (del 1er al 6to caso)	Manipulación de antenas (7mo caso)	Manipulación de antenas (8vo caso)	Predicción de Cobertura 1er caso	Predicción de Cobertura 2do caso	Predicción de Cobertura 3er caso
Antenas + "Feeder"	$4.000,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Transceivers	$2.600,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Transmisores (Trx)	$3.000,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Configuración y otros	$1.000,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Expertos	$3.000,00	$3.000,00	$3.000,00	$3.000,00	$3.000,00	$3.000,00	$3.000,00	$3.000,00	$3.000,00
Ingenieros de RF, Database y estadisticas	$2.500,00	$2.500,00	$2.500,00	$2.500,00	$2.500,00	$2.500,00	$2.500,00	$2.500,00	$2.500,00
Conductores	$200,00	$200,00	$200,00	$200,00	$200,00	$200,00	$200,00	$200,00	$200,00
Antenero (Técnico en antenas)	$300,00	$300,00	$300,00	$300,00	$300,00	$300,00	$300,00	$300,00	$300,00
Configuración sectores 2/0/0	-	$17.000,00	-	-	-	-	-	-	-
Cambio de "azimuth", "tilt"	-	-	-	-	$6.000,00	$4.000,00	-	-	-
Tipo de antena	-	-	-	-	$4.000,00	$2.000,00	-	-	-
Cambio de alturas	-	-	-	-	$5.500,00	$4.000,00	-	-	-
Nuevos sitios micro: 4/0/0	-	-	-	-	-	-	$11.000,00	$11.000,00	$11.000,00
Nuevos sitios macro *outdoor*: 2/2/2	-	-	-	-	-	-	$20.000,00	$20.000,00	$20.000,00
Nuevos sitios macro indoor: 2/2/2	-	-	-	-	-	-	$18.000,00	$18.000,00	$18.000,00
Otros	-	-	-	-	$2.000,00	$1.000,00	$2.000,00	$2.000,00	$2.000,00
TOTAL MENSUAL	**$16.600,00**	**$23.000,00**	**$6.000,00**	**$6.000,00**	**$23.500,00**	**$17.000,00**	**$57.000,00**	**$57.000,00**	**$57.000,00**

Tabla 4.4 Estimación de costos referenciales de los métodos citados en el cuarto capítulo

RESUMEN CUARTO CAPÍTULO

El objeto de este capítulo es realizar las simulaciones de los métodos de optimización de cobertura que se considera los más relevantes, para obtener un mejor entendimiento de los mencionados métodos ya que la simulación es el paso previo a la implementación real. Como se trata de optimización no se tendrá un 100% de mejoramiento de la red, pero con la implementación de estos métodos se tendrá un nivel bastante aceptable.

En este capítulo lo primero que se hace es desarrollar una metodología general a seguir para la optimización de cobertura, se realiza una breve descripción de las herramientas de software utilizadas en este capítulo, también se mencionan las consideraciones para entender los *plots* de cobertura que se obtiene de cada simulación. En cada método simulado se pone un diagrama de flujo con las características principales y los casos más representativos por los que se opta para la simulación de dichos métodos. Además, se consideran varios ejemplos que requieren de optimización de cobertura y se realiza la simulación de los mismos.

Finalmente se realiza una estimación de costos referenciales de los métodos utilizados en el presente capítulo.

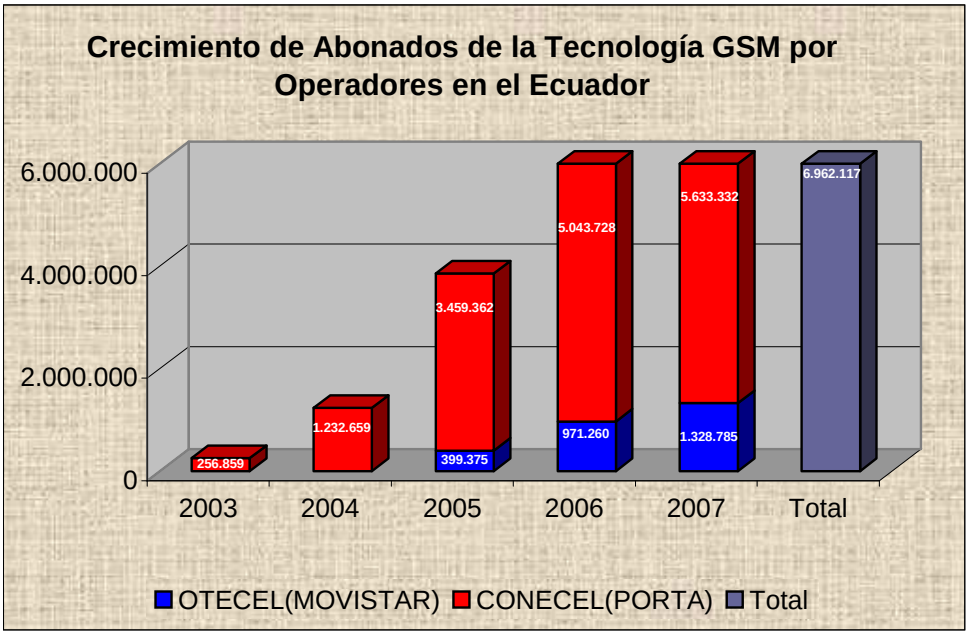
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

COMENTARIOS

Demanda actual e impacto de la tecnología GSM

- El impacto de GSM es indiscutible, prueba de ello es que su participación de mercado continúa en aumento. En el 2005, inmediatamente luego de colocarse en el primer puesto entre las tecnologías inalámbricas móviles de América, GSM tenía el 38% del mercado de la región. Doce meses más tarde, esa participación ascendió al 51% y en varios países clave, sus participaciones de mercado son más impactantes aún.

- El crecimiento de la tecnología GSM ha sido tan significativo, que para junio de 2006 se tenían 2 mil millones de abonados GSM en el mundo. Para hacer una comparación solo en el Ecuador en 2003 se tenía **256.859** usuarios y actualmente (marzo 2007) se tiene **6.962.117** usuarios, como se puede ver en la figura 5.1.



Fuente: SENATEL, Mar 2007

Figura 5.1 Crecimiento de la Tecnología GSM

Lo que significa que esta tecnología es la más aceptada por los usuarios y la que más utilidades e ingresos generan a las operadoras.

- La comunidad GSM ofrece el área de cobertura inalámbrica más extensa del mundo, con más del 75% del mercado inalámbrico digital. En América, GSM es la tecnología inalámbrica de mayor evolución, con un índice de crecimiento mayor año tras año. Numerosos operadores TDMA (63 hasta la fecha) han implementado GSM/GPRS con éxito en su transición a los servicios de próxima generación. Además, seis operadores CDMA de América han optado por superponer sus redes con GSM.

- GSM es una "norma abierta", por lo que presenta un entorno competitivo igualitario tanto para fabricantes como para operadores. Esta apertura crea bastas economías de escala que en última instancia aportan valor para los actores de la industria GSM, así como para sus consumidores y empresas clientes.

Principios de la tecnología GSM

- La cobertura del sistema se refiere a las zonas geográficas en las que se va a prestar el servicio. La tecnología más apropiada es aquella que permita una máxima cobertura con un mínimo de estaciones base, manteniendo los parámetros de calidad exigidos por las necesidades de los usuarios y de los operadores que ofrecen dichos servicios.

- Una de las medidas físicas de la calidad del canal de RF es la relación portadora-a-interferencia (C/I, *carrier-to-interference*). Esta relación es logarítmicamente proporcional a la calidad de la señal del receptor.

CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas de este proyecto se han clasificado de la siguiente manera

Planificación de redes GSM

- La Planificación de frecuencias tiene como objetivos principales la optimización del uso del espectro, sobre todo la eliminación de las interferencias y el cumplimiento de manera indirecta con los KPIs (*Key Performance Indicators*) exigidos por el operador.

- El aspecto que hace crítico el plan de frecuencias en las redes GSM es el hecho de que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado. Debido a que el espectro es un recurso escaso, éste se reparte moderadamente entre los diferentes usuarios y en concreto entre los operadores de telefonía móvil.

- Se tiene canal común cuando un canal se utiliza tanto para BCCH como para TCH. Se tiene un canal de rehúso múltiple cuando hay un grupo de frecuencias que puede tener distintos tipos de factores de rehúso dentro de un *cluster*.

- 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.

Mejoras de la calidad en GSM

- El sistema GSM ofrece movilidad internacional y una gran variedad de servicios como telefonía, fax, transferencia de datos, servicios suplementarios, etc.

- La DTX (Transmisión Discontinua) en GSM reduce la energía transmitida, reduce los niveles de interferencia y; en la MS (Estación Móvil) disminuye la radiación sobre la cabeza y además se prolonga la duración de las baterías.

- El FH (*Frequency Hopping*) produce el cambio de frecuencia en la transmisión en cada trama para evitar que los desvanecimientos e interferencias de canal adyacente afecten de forma permanente a un determinado canal.

- La implementación de *Frequency Hopping* es necesaria cuando hay pocos canales de tráfico (TCH) disponibles.

- De los tres tipos de FH (*Frequency Hopping*), el más seguro de implementar es el SiFH (*Site Frequency Hopping*), ya que al implementar el SyFH (*Synthetized Frequency Hopping*) se tiene muchas colisiones y en el BBFH (*Base Band Frequency Hopping*) se tiene cambios randómicos o sincrónicos. Estos se los implementa en ocasiones puntuales como: el BBFH se aplica en los BCCH cuando la red tiene amplio espectro disponible, el SyFH se aplica en los TCH cuando la red tiene amplio espectro disponible y el SiFH se aplica cuando no se tiene amplio espectro.

- Mediante el Control de Potencia, se realiza la adaptación de la potencia transmitida tanto por el móvil como por la BTS a las condiciones de propagación. El objetivo es minimizar la potencia transmitida por la BTS y la MS manteniendo la calidad en la comunicación.

- Sin el control de potencia, los móviles cercanos podrían saturar la transmisión de móviles distantes a los transceptores de la Radio Base.

Métodos de Optimización de Cobertura

En el presente proyecto, se han descrito los siguientes métodos de optimización:

1. Optimización de Cobertura Mediante Sectorización. Tiene como ventajas las siguientes: Incrementa la capacidad y la cobertura, utiliza menor potencia en los transmisores y se tiene menor disipación de la señal. Como desventajas se tiene que requiere *handover Intracell* (se refiere al cambio de asignación de antena dentro de la celda) y que requiere de mayor número de frecuencias para el canal BCCH.

2. Optimización de Cobertura Mediante Microceldas y Picoceldas. Las ventajas son que se tiene mayor eficiencia en la operación del sistema, se aumenta la capacidad y se reducen los costos de red por suscriptor. La desventaja es que se tiene menor cobertura en comparación con una macrocelda y aumentan los costos para el operador.

3. Optimización de Cobertura Mediante División de Celda (*Cell Splitting*). Tiene como ventajas el hecho que se incrementa la capacidad de tráfico, se tiene mayor precisión de las estaciones base y se reduce la potencia. Como desventajas se tiene que se Aumenta el tráfico de señalización, aumenta los costos para el operador y hay más procesos de *handoff*.

4. Optimización de Cobertura Mediante Análisis de Interferencia. Tiene la ventaja que identifica y soluciona problemas de interferencia co-canal o de canal adyacente

5. Optimización de Cobertura Mediante el uso de Antenas Inteligentes. Tiene como ventajas las siguientes: Incrementa el alcance, reduce la potencia de transmisión, reduce la propagación multitrayecto, reduce el nivel de interferencia e incrementa los niveles de seguridad. Como desventajas se tiene que la implementación de éste tipo de sistemas es bastante costoso y esta tecnología se encuentra en una etapa muy temprana de su desarrollo a nivel comercial.

6. Optimización de Cobertura Mediante el uso de Algoritmos. Tiene la ventaja de que al utilizar el algoritmo *ANTS* se tiene una eficiente asignación de frecuencias, que puede reducir el número de frecuencias en el diseño de una red, dando como resultado un ahorro considerable en los costos. Además se tiene reducción en los niveles de interferencia.

7. Optimización de Cobertura Mediante Manipulación de Antenas. Tiene como ventaja que al realizar cambios en el *azimuth*, *tilt* eléctrico o *tilt* mecánico, se consigue incrementar la cobertura con un bajo costo. Como desventaja se tiene que al realizar cambios de altura o tipo de antenas e incremento de nuevos sitios; los costos se vuelven altos.

8. Optimización de Cobertura Mediante Estudio y Análisis de los Parámetros de Calidad. Tiene como ventaja el hecho que garantiza que el cliente tendrá un adecuado nivel de calidad. Como desventaja se tiene que los parámetros de calidad no necesariamente son los mismos en todos los países por lo que este método tendrá que ser realizado de acuerdo a los parámetros de calidad establecidos para cada país.

9. Optimización de Cobertura Mediante Pruebas de Campo o *Drive Test.* Tiene las siguientes ventajas: Mejora la calidad de la señal, las estadísticas de red y los KPIs, reduce interferencia y minimiza los *handovers* fallidos. Tiene como desventaja el hecho de que el trabajo tiene que ser minucioso y se necesita de tiempo, porque hay que considerar que para realizar el *drive test*, se tiene tres procesos, antes del *drive test,* durante el *drive test* y después del *drive test*.

10. Optimización de Cobertura Mediante Simulación de *Plots* de Cobertura o Predicciones de Cobertura. Tiene como ventaja el hecho de que la utilización de *softwares* siempre se refleja en ahorro de tiempo y dinero. Como desventaja se tiene que los resultados teóricos no siempre son

factibles de implementar en la vida real, por ejemplo, pueden haber lugares donde no se puede tener acceso o que son considerados como reservas ecológicas y por lo tanto se debe buscar otros lugares que no son los más óptimos para la implementación de nuevos sitios.

11. Optimización de Cobertura Mediante *Plots* de Cobertura realizando una consideración de zonas que se las puede tomar como huecos de cobertura. Tiene como ventaja el hecho que al querer expandir una red, simplemente con la visualización de los *plots* de cobertura se puede saber donde se necesita aumentar sitios. Como desventaja se tiene que los resultados teóricos no siempre son factibles en la vida real.

12. Optimización de Cobertura Mediante Aumento de Capacidad. La ventaja es que aumenta el número de usuarios sin disminuir la calidad del sistema. Como desventaja se tiene que el aumento de capacidad siempre aumenta los costos para el operador.

De los métodos de optimización de cobertura se tiene las siguientes conclusiones.

- Una Antena Inteligente es la combinación de un arreglo de antenas con una unidad de Procesamiento Digital de Señales (DSP) que optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno.

- La técnica de Haz Adaptivo constituye el máximo nivel de inteligencia que se podría dar en un sistema de antenas, porque asigna dinámicamente el lóbulo principal y los lóbulos secundarios según la necesidad del usuario. Esto lleva al ahorro de recursos que es muy importante para la optimización.

- En la Optimización de Cobertura mediante *Drive test* se realiza la supervisión de la cobertura y la calidad de la red mediante el control de los parámetros de la interfaz radio. Se realiza los *Drive test* para chequear cobertura y calidad de servicio en cierta área, para encontrar respuestas a

los reclamos de los clientes, determinar que la red esté o no funcionando apropiadamente, además para verificar que ciertos pasos de optimización han sido exitosos o no.

- Generalmente, en un enlace no-balanceado el rango de cobertura *downlink* es más alto que el *uplink*. Este problema se resuelve con la implementación de pre-amplificadores cercanos a la antena.

- En la Optimización de Cobertura mediante Manipulación de Antenas, lo primero que generalmente se hace es la alteración del *tilt* de las antenas. El cambio se debe realizar cuidadosamente ya que es un cambio físico. Los *downtilt* típicos están entre 0º y 10º. Tiene las siguientes ventajas: reduce interferencias, limita la cobertura, mejora la cobertura y mejora la penetración en ambientes *indoor*.

- Para cualquier cambio que se realice, que puede ser alteración del *tilt* eléctrico, mecánico, variación de *azimuth*, cambio de tipos de antena, adición de sectores, apertura del ángulo de las antenas, etc, se debe tener en cuenta, no comprometer la cobertura original de la celda.

- Variar el *tilt* mecánico (*downtilt*) ensancha la cobertura en las partes laterales y se expande en sus partes traseras. Lo contrario, variar el *uptilt* hace que la cobertura en lugares cercanos se comprometa pero en lugares lejanos mejore a pesar de que haya interferencias.

- El cambio de tipo de antenas o de su altura, incluye altos costos adicionales, puesto que se deben realizar cambios en las dimensiones de los materiales del sistema radiante, corte de servicio y otros.

- El cambio en altura de antenas, por ejemplo su disminución da en la simulación una cobertura reducida en su extensión pero mejorada en su amplitud. Esto se hace para mejorar coberturas cercanas, evitar interferencias y mejorar estadísticas de calidad de red. En cambio, el

aumento de altura de antenas es todo lo contrario; aumenta el alcance de cobertura en su extensión, pero se pueden generar interferencias o alterar las estadísticas de calidad con celdas cercanas.

- La implementación de nuevos sitios en la red incluye elevados costos adicionales por los materiales del sistema de radiación, materiales de construcciones civiles, eléctricas, arrendamientos o compra de terrenos del sitio, etc. y una cuidadosa planeación de frecuencias BCCH y TCH.

- Para la Optimización de Cobertura, siempre se empieza por las soluciones que económicamente tengan el menor costo, primero cambios en hard*ware* y luego cambios en soft*ware*. Por esta razón, en cuanto en cambios de hardware se tiene el siguiente orden jerárquico: 1) variación de los *tilts* eléctricos y mecánicos, 2) variación de los *azimuth*, 3) cambio de altura de las antenas, 4) cambio de tipo de antenas y 5) reubicación de los sitios. (1 es el que tiene mayor prioridad). En lo que se refiere a cambios en software se tiene: 1) Variación de los parámetros RX, 2) Variación de los parámetros de potencia, 3) Variación de los parámetros de *handover*, 4) Variación de otros parámetros de calidad.

- La Optimización se realiza sobre una red ya implementada. Su objetivo es hacer que esta red mejore su calidad y su desempeño, haciendo a la red más eficiente al menor costo.

- Los métodos de optimización descritos en este proyecto en lo referente a propagación, también pueden ser utilizados en otras tecnologías, porque no son exclusivos para GSM.

- También se llega a la conclusión de que con la simulación de los diferentes métodos se obtiene un mejor entendimiento y se puede decir que es un paso previo para la implementación en la realidad con las debidas consideraciones, debido a que se trata de optimización casi nunca se

logrará un 100% del mejoramiento de la red, pero con la implementación de estos métodos se tendrá un nivel bastante aceptable.

RECOMENDACIONES

- La utilización de herramientas de predicción de cobertura es de gran ayuda, ya que se puede tener una idea de cual de las opciones para optimizar cobertura es la más recomendable, lo que permite ahorrar tiempo y dinero.

- La realización de *Drive tesst* permite comprobar el éxito o el fracaso de los cambios, tanto de *software* como de *hardware* y además se tiene la oportunidad de corregir los errores cometidos, con lo que es posible obtener un nivel de optimización bastante aceptable.

- Se recomienda la implementación de antenas inteligentes cuando se va a implementar una nueva red, porque al utilizarlas en una red existente se deberá realizar cambios en la planificación y despliegue de la red, además, aumenta la complejidad tanto en los transceptores como de la gestión de los recursos radioeléctricos y de la movilidad de los usuarios. Además, sería recomendable esperar un poco para utilizar este tipo de tecnología, porque todavía se encuentra en una etapa muy temprana de su desarrollo comercial.

- Es recomendable para la Optimización de Cobertura, primero implementar los cambios físicos puesto que son los más económicos, luego los cambios en el *software y* en lo posible, se debe procurar tener un equilibrio entre ellos.

- Existe una limitación al variar el *tilt*, porque cuando se aumenta el *tilt* la cobertura disminuye. Por esta razón se debe tener cuidado cuando se

varía *tilts* eléctricos o mecánicos y se debe tratar que la calidad se servicio y los niveles de señal no se alteren.

- Se recomienda que en lo posible se utilice la combinación de estos métodos de optimización, porque la optimización no se reduce al utilizar un solo método, en razón de que la optimización es un proceso iterativo.

- En lo referente a digitalización de mapas el rango recomendable que se debe utilizar es el que esta en la escala de 1:50000 a 1:100000, en vista de que en este rango se tiene una mejor apreciación de las condiciones bajo las cuales se va a trabajar y se puede manejar eficientemente la información.

- También sería recomendable tercerizar los procesos de optimización, esto quiere decir que un tercero que sea ajeno a la operadoras, brinde el servicio de optimización de cobertura. En razón de que la operadora tendría un ahorro en costos, porque no tendría que comprar equipos, contratar personal especializado, etc.

BIBLIOGRAFÍA

TEXTOS

- TELEFÓNICA-Móviles, Las telecomunicaciones en la Movilidad en la sociedad de la información, 2004.
- MC, GRAW HILL, Sendin Escalona Alberto. Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles Evolución y Tecnologías. Universidad del País Vasco. 2004.
- GSM and Personal Communications Handbook. Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant.
- Evolución de los sistemas móviles celulares GSM, Álvar Pachón de la Cruz. Departamento de Redes y Comunicaciones. Universidad Icesi-12T.
- SIEMENS AG, Procedimiento de Planeación de Redes de Radio; 2003.
- Presentaciones en Power Point-SIEMENS AG, 2004.
- SIEMENS AG, Fases principales del diseño de una Red, 2004
- SIEMENS AG, Network Planning Basics; 2004
- J.M. Huidobro Moya, Comunicaciones Móviles, Thomson & Paraninfo, 2003.
- GSM Introducction, Manual Ericcson, Ericcson Radio System AB, 1998
- AMPS/TDMA System Design Fundamentals, Northern Telecom/99.
- J.M. Hernado y F.P. Fontán, Introducction to Mobile Communication Engineering, Artech House, 1999.
- K. Feher, Wirelles Digital Communications, Prentice-Hall, 1995.
- Seminario de Tecnologías de las Comunicaciones. Ing. José Acuña, Ing. Gabriel Dutra. Abril 2003.
- Msc. Soraya Sinche, “Folleto de Telemática”, EPN, marzo 2005.
- Comunicaciones Móviles. El Sistema GSM, Carlos Crespo Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Sevilla-España, diciembre de 2006.

- Radiación y Radiocomunicación, 4º Ingeniería de Telecomunicación, Tema 9º, Juan Murilo
- Radiación y Radiocomunicación, Autor: Carlos Crespo Cadenas. Cáp. 9,
- Grupo de Comunicaciones Radio, 3.3 Tipos de Células

LINKS INTERNET

- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo1.pdf
- http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No2/Gsmseuly.htm
- http://es.wikipedia.org/wiki/GSM
- http://ceres.ugr.es/~alumnos/c_avila/gsm0.htm
- http://www.monografias.com/trabajos15/telefonia-celular/telefonia-celular.shtml
- http://igi.uni.edu.pe/indextecnia/02-1-2.htm
- http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No2/Luis_Rosas.htm
- http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_celular
- http://www.radioptica.com/Radio/material_rad.asp
- http://telematica.cicese.mx/revistatel/archivos/Telem@tica_AnoIII_No17.pdf
- http://ieee.udistrital.edu.co/communications/Exposiciones/ANTENAS%20INTELIGENTES.pdf
- http://www.lant.ing.uc.edu.ve/FILES/ANTENAS%20INTELIGENTES-8a-(SEC).pdf
- www.telefonica.es/informeanual/esp/pdf/04clientes.pdf
- http://ceres.ugr.es/~alumnos/c_avila/gsm22.htm
- http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/celular/Teorico/Presentaciones%20de%20las%20clases/Planificacion_Celular_Aplicada.pdf
- http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/libroscap.01._sesion_tecnica_1_67642b44.pdf?PHPSESSID=171619da9fe99996ea63ae33a8c02191
- http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Tecnologias%20de%20banda%20angosta/introduccion%20telefon%EDa%20celular%202003.pdf

- http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota02.htm
- http://www.3gamericas.org/Spanish/Technology_Center/GSM_sp.cfm
- www.ibercom.net/servicios2.asp
- www.conatel.gov.ec/website/audiencias/Norma_QoS_v1_DGP.pdf
- www.aircom.com.uk
- www.fdi.ucm.es/profesor/jseptein/WEB/Docencia/AVRED/Documentos/Tema6.pdf
- www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/1999_03/files/es1999034.pdf
- www.cujae.edu.cu/revistas/telematica/Articulos/302.htm
- www.elo.utfsm.cl/~elo341/material/CodCanalGSM.pdf
- www.endor.cl/en/Archivos_Publicos/articulos/seg27.html
- www.info-ab.uclm.es/asignaturas/42638/pdf/cap4.pdf
- www.radioptica.com/Radio/planificacion.asp?pag=5
- www-ma4.upc.edu/~comellas/telecomid/338-paper.pdf
- http://procesostarifarios.subtel.cl/downloads/TELMOVIL/3-6-a_Anexo_Pub_Mem_ProyTec.pdf