



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

## **GUÍA DE MONITOREO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA RED DE RADIO FRECUENCIA**

**Luis Obdulio Madriles Cristales**

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, octubre 2012



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA DE MONITOREO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA RED DE  
RADIO FRECUENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LUIS OBDULIO MADRILES CRISTALES**

ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### GUÍA DE MONITOREO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA RED DE RADIO FRECUENCIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha mayo de 2011.



**Luis Obdulio Madriles Cristales**

Guatemala, Agosto de 2011.

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Facultad de ingeniería, USAC

Respetable ingeniero Guzmán:

Por este medio le informo que he procedido a la revisión del trabajo de graduación titulado: GUIA DE MONITOREO Y OPTIMIZACION DE UNA RED DE RADIO FRECUENCIA, presentado por el estudiante universitario de la carrera de ingeniería electrónica: Luis Obdulio Madriles Cristales, y después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos originales.

Por lo tanto, hago de su conocimiento, que en mi opinión, el mencionado trabajo reúne los requisitos necesarios para la aprobación final.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,



Enrique Edmundo Ruiz Carballo  
Ingeniero Eléctrico  
Asesor



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 57 2011  
Guatemala, 31 de AGOSTO 2011.

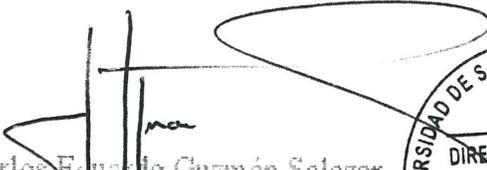
Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
GUÍA DE MONITOREO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA RED DE  
RADIO FRECUENCIA del estudiante LUIS OBDULIO  
MADRILES CRISTALES, que cumple con los requisitos establecidos  
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
DID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador de Electrónica

CEGS/ero

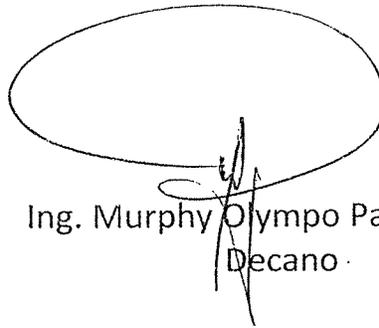




DTG. 524.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **GUÍA DE MONITOREO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA RED DE RADIO FRECUENCIA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Obdulio Madriles Cristales**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 23 de octubre de 2012.



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- |                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Dios</b>         | Por estar conmigo en todo momento de mi vida, y darme la fortaleza para siempre seguir adelante.     |
| <b>Mis padres</b>   | Por apoyarme siempre y enseñarme el valor del trabajo; sin su esfuerzo esto no hubiera sido posible. |
| <b>Mis hermanos</b> | Por el apoyo incondicional que siempre me brindan.   |
| <b>Mis sobrinos</b> | Que este logro sea para ellos un ejemplo de esfuerzo   |

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. HERRAMIENTAS DE MONITOREO .....	1
1.1. Herramientas .....	1
1.1.1. Descripción general .....	1
1.1.1.1. Terminal de prueba .....	1
1.1.1.2. <i>Scanner</i> de portadora.....	4
1.1.1.3. Analizador de espectro .....	5
1.2. Datos de entrada.....	5
1.2.1. Descripción general .....	6
1.2.2. Estadística de rendimiento.....	6
1.2.3. Registro de rendimientos. ....	6
1.2.4. CTR.....	7
1.2.5. GPEH .....	7
1.3. Consideraciones.....	7
1.3.1. Horario .....	7
1.3.2. Características de canal físico .....	13
1.3.3. <i>Drive test</i> .....	14

2.	ANÁLISIS DE RENDIMIENTO .....	17
2.1.	Conceptos básicos .....	17
2.1.1.	Ambiente de radio frecuencia .....	17
2.1.2.	Perfil de trafico.....	18
2.1.3.	Características de radio frecuencia en UMTS .....	19
2.1.4.	Revisión del plan de radio frecuencia .....	27
2.2.	Recomendaciones para optimización .....	28
2.2.1.	Descripción general.....	28
2.2.2.	Modificación en la potencia del canal piloto.....	33
2.2.3.	Administración de la capacidad .....	39
2.2.4.	Control de potencia.....	39
2.2.5.	<i>Handover</i> .....	40
2.3.	Sitio nuevo .....	42
3.	LLAMADAS POR CAÍDAS DE CONEXIÓN .....	43
3.1.	Definición de llamada caída.....	43
3.2.	Canal dedicado .....	43
3.2.1.	Contadores de eventos por móvil .....	43
3.2.2.	Escenarios de desconexión del canal dedicado .....	44
3.2.3.	Diagrama de flujo para identificar caídas de llamada por congestión.....	48
3.2.4.	Diagrama de flujo para la detección de fallas en el canal piloto.....	48
3.3.	Canal común.....	51
3.3.1.	Escenarios de desconexión de los canales comunes.....	52
3.3.2.	Celda servidora incorrecta .....	53

4.	FALLAS EN FUNCIONES DE MOVILIDAD	55
4.1.	Definición .....	55
4.2.	Fallas de detección de eventos de <i>handover</i> .....	56
4.2.1.	Escenarios de fallas de <i>handover</i> .....	56
4.2.2.	Adición de vecindades .....	57
4.2.3.	Remoción de una vecindad .....	59
4.3.	Falla en el algoritmo de <i>handover</i> .....	60
4.3.1.	Escenarios de fallas en el algoritmo de <i>handover</i> ..	60
4.3.2.	Problemas en la asignación de recursos .....	60
4.3.3.	Fallas de sincronía en la ejecución de <i>handover</i> ....	62
4.4.	Fallas en reelección de celda.....	63
4.4.1.	Escenarios de falla en reelección de celda .....	63
4.4.2.	Evaluación de problemas de reelección .....	64
4.4.3.	Fallas en el canal físico aleatorio PRACH .....	65
4.5.	Falla en actualización de celda .....	67
4.5.1.	Escenarios de falla en actualización de celda .....	67
4.5.2.	Problemas en el canal secundario de control o en la portadora .....	68
5.	BLOQUEO DE CELDA .....	69
5.1.	Escenarios de bloqueo de celda .....	69
5.2.	Bloqueo de celda .....	71
5.2.1.	Congestión por hardware .....	71
5.2.2.	Potencia alta en el canal de transmisión de la radio base.....	73
5.2.3.	Alta potencia recibida en el canal de subida.....	74
6.	FALLAS DE ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN .....	77
6.1.	Falla de establecimiento de conexión .....	77
6.2.	Fallas de establecimiento con la fuente de control de	

radio frecuencia.....	77
6.2.1. Escenarios de fallas de establecimiento.....	77
6.2.2. Problemas de conexión por sincronía de radio enlace .....	80
6.2.3. Fallas en la negociación de enlace de radio frecuencia .....	81
6.2.4. Pérdida de sincronía en el canal de subida durante el establecimiento de conexión.....	82
6.2.5. Pérdida de sincronía en el canal de bajada durante el establecimiento de conexión .....	84
6.3. Fallas de establecimiento por señalización.....	86
6.3.1. Escenario de fallas por señalización .....	86
6.4. Fallas de establecimiento por acceso a la portada .....	87
6.4.1. Tipos de fallas de establecimiento .....	88
6.4.2. Fallas de establecimiento hacia el RAB-DCH desde el estado SRD-DCH .....	88
6.4.3. Fallas de establecimiento hacia el RAB-DCH desde el estado RAB-RA/FA.....	90
6.4.4. Escenarios de problemas de sincronía en una falla de establecimiento de RAB-DCH.....	91
6.4.5. Fallas de establecimiento de RAB-RA/FA desde el estado SRD-DCH.....	92
7. MALA CALIDAD .....	95
7.1. Definición de mala calidad en el canal de subida .....	95
7.2. Mala calidad en el canal de subida .....	95
7.2.1. Escenario de mala calidad en el canal de subida ....	95
7.2.2. Mala configuración de parámetros del control de potencia en el canal de subida .....	97

7.3.	Mala calidad en el canal de bajada .....	99
7.3.1.	Escenarios de mala calidad en el canal de bajada .....	99
7.3.2.	Mala configuración de parámetros de control de potencia en el canal de bajada .....	100
8.	BENEFICIOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y ESTRATÉGICOS AL IMPLEMENTAR OPTIMIZACIÓN EN UNA RED DE RADIO FRECUENCIA .....	103
8.1.	Beneficios técnicos .....	103
8.2.	Beneficios económicos .....	104
8.2.1.	Estimación de nomina.....	104
8.2.2.	Cuantificación de gastos.....	105
8.2.3.	Resumen de gastos .....	107
8.3.	Beneficios estratégicos .....	108
	CONCLUSIONES .....	111
	RECOMENDACIONES .....	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Terminal para pruebas <i>indoor</i> .....	3
2.	Equipo de medición con <i>scanner</i> .....	3
3.	Analizador de espectro .....	5
4.	Definición de hora pico de acuerdo con los métodos 1 y 2.....	9
5.	Suma simple de cargas de subida y bajada.....	10
6.	Tendencia de carga y descarga por semana.....	12
7.	Proporción de caídas de llamadas.....	13
8.	Comportamiento de <i>c/i</i> en diferentes ambientes.....	18
9.	<i>Ec/no</i> contra distancia.....	20
10.	Área de <i>soft handover</i> .....	22
11.	Histéresis en el proceso de <i>handover</i> .....	23
12.	Caída de conexión por falla de <i>handover</i> .....	25
13.	<i>Tilt</i> eléctrico.....	29
14.	<i>Tilt</i> mecánico.....	30
15.	Zona de interferencia.....	31
16.	Interferencia al disminuir los niveles de potencia de salida.....	33
17.	Desbalance de potencia.....	35
18.	Desbalance de potencia en el canal piloto.....	37
19.	Desbalance de cobertura.....	40
20.	Niveles de acceso.....	41
21.	Cambio de entorno.....	42
22.	Desconexión de canal dedicado.....	45

23.	Diferentes tipos de fallas de cobertura .....	46
24.	Caída de conexión por congestión .....	48
25.	Flujo para la detección de falla en el canal piloto .....	49
26.	Corrección de errores en el control de potencia .....	51
27.	Desconexión de canales comunes .....	52
28.	Flujo para encontrar una servidora incorrecta .....	53
29.	Fallas de eventos de <i>handover</i> .....	57
30.	Diagrama de edición de vecindades.....	58
31.	Diagrama de remoción de vecindad .....	59
32.	Problemas en asignación de recursos.....	61
33.	Fallas de sincronía en ejecución de <i>handover</i> .....	62
34.	Escenarios de reelección.....	64
35.	Evaluación de problemas de reelección .....	65
36.	Fallas en el canal físico .....	66
37.	Escenarios de fallas en actualización de celdas.....	67
38.	Detección de problemas en el canal secundario .....	68
39.	Escenarios de bloqueo de celdas .....	70
40.	Congestión por hardware .....	72
41.	Potencia alta en el canal de transmisión .....	73
42.	Potencia alta en el canal de subida .....	75
43.	Fallas en el control de radio frecuencia .....	79
44.	Problemas de conexión de sincronía de radio enlace .....	80
45.	Fallas en la negociación de enlace.....	81
46.	Pérdida de sincronía en el canal de sincronía .....	83
47.	Pérdida de sincronía en el canal de bajada.....	85
48.	Escenarios de fallas de establecimiento.....	87
49.	Tipos de fallas por establecimientos.....	88
50.	Fallas de establecimiento hacia el RAB-DCH desde el estado SRD-DCH.....	89

51.	Fallas de establecimiento hacia el RAB-DCH desde el estado RAB-RA/FA.....	91
52.	Escenarios de problemas de sincronía en una falla de establecimiento de RAB-DCH.....	92
53.	Falla de establecimiento de RAB-RA/FA desde el estado SRD-DCH....	94
54.	Escenarios de mala calidad en el canal de subida .....	96
55.	Mala configuración de parámetros del control de potencia en el canal de subida.....	98
56.	Escenario de mala calidad en el canal de bajada .....	99
57.	Mala configuración de parámetros de control de potencia en el canal de bajada.....	101
58.	Tendencia de vida por tecnología .....	109

## TABLAS

I.	Parámetros observables en un terminal de prueba .....	2
II.	Parámetros observables en un scanner de portadora .....	4
III.	Suma de todas las cargas de subida y bajada .....	10
IV.	Planilla de sueldos.....	105
V.	Herramientas .....	106
VI.	Proyección de gastos sin calibración de herramientas .....	106
VII.	Proyección de gasto con calibración de herramientas.....	107
VIII.	Proyección de gastos a 10 años sin calibración de la herramienta de predicción .....	107
IX.	Proyección de gastos a 10 años con calibración de la herramienta de predicción .....	107



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Kbps</b>	Kilobits por segundo
<b>mW</b>	Miliwatt
<b>dBm</b>	Unidad de potencia en decibelios en relación con un nivel de referencia de 1 mW.
<b>dB</b>	Decibel



## GLOSARIO

<b><i>Acquisition Channel</i></b>	Se utiliza en respuesta a una solicitud de canal de acceso aleatorio de un móvil como preámbulo para indicar al móvil que continúe con la llamada establecida.
<b><i>Carrier-to-Interference ratio</i></b>	Es el cociente entre la media recibida modulada portador de energía $C$ y el promedio recibido del poder de interferencia co-canal $I$ .
<b><i>Common Pilot Channel</i></b>	Es un canal de <i>broadcast</i> descendente, de nodos $B$ con alimentación constante, y de una secuencia poco conocida. Su potencia es por lo general entre 5% y el 15% del total de la potencia de transmisión del nodo $B$ .
<b>Dedicated Physical Control Channel</b>	Canal físico en el que se transmite la señalización, del móvil hacia la radio base y viceversa.
<b>Forward Access Channel</b>	Es un canal descendente que pertenece a los canales de transporte, es enviado por el nodo $B$ y recibido por todos los móviles.

**Handover (HANDOFF)**

Es el sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objeto de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente. Este mecanismo garantiza la continuidad del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

**Page Indication Channel**

Es un canal de transporte de enlace descendente. Es recibido por todos los móviles. La transmisión de la PCH se asocia con la Transmisión de la capa física que genera paginación, para apoyar los procedimientos eficientes del móvil en sleep mode.

**Physical Random Access Channel**

Es la capa física de acceso aleatorio, es utilizado para establecer la sincronía entre el móvil y la radio base.

**Radio Network Controller**

Es un elemento que rige la red de acceso de radio frecuencia en tecnología UMTS y es responsable de controlar los Nodos B que están conectados a él.

**Received Signal Strength**

Es una tecnología genérica de recepción de Métricas de radio, que suelen ser invisible para el usuario del dispositivo que contiene el receptor, pero es conocida directamente a los usuarios de las redes inalámbricas IEEE de la familia de protocolos 802.11.

**Received Signal Code Power**

En el sistema de comunicación celular UMTS, la potencia de la señal de código (RSCP) de nota la potencia medida por un receptor en un canal de comunicación física particular. Se como un indicador de intensidad de la señal, como un criterio de entrega, en el control de bajada de potencia, y para el cálculo de perdida de trayectoria. En los sistemas CDMA, un canal físico se corresponde con un código particular, la difusión de ahí el nombre.

**Synchronization Channel**

Es un canal de enlace descendente de control utilizado en los sistemas GSM de telefonía celular es parte de la especificación de interfaz de radio móvil. El propósito del SCH es permitir al móvil identificar rápidamente una celda cercana.



## **RESUMEN**

Este trabajo de graduación provee información sobre cómo monitorear y optimizar una red de radio frecuencia y se toman como ejemplos redes UMTS Y GSM.

El esquema de este trabajo de graduación es el siguiente: se presenta el proceso de optimización de una red de radio frecuencia.

Se muestran algunas herramientas de monitoreo y recolección de datos, tales como terminales de prueba, estadísticas de comportamiento de la red.

Presenta algunas consideraciones de monitoreo del rendimiento de la red.

Proporciona conceptos de análisis de rendimiento, y se también varios conceptos claves para la optimización de redes de radio frecuencia.

Los escenarios de cada punto en cuestión que pueden ocasionar problemas en una red de radio frecuencia.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Describir el proceso y elaborar una guía para monitorear, y corregir fallas de una red de radio frecuencia, y así garantizar la satisfacción de los clientes.

### **Específicos**

1. Describir el proceso de optimización de una red de radio frecuencia.
2. Desarrollar los puntos clave en el proceso de análisis, previo a la optimización.
3. Hacer el análisis de los motivos diversos por los cuales se puede producir una caída de comunicación.
4. Describir los procesos que pueden dar como resultado fallas en el establecimiento de llamadas.



## INTRODUCCIÓN

A finales del siglo pasado y aún hoy en día el crecimiento de la tecnología de la información ha sido a pasos agigantados, y la invención de los semiconductores ha contribuido grandemente a esto, entre los avances de esta tecnología en todo el mundo, y el crecimiento de la industria de los computadores.

La telefonía móvil, también llamada telefonía celular, básicamente está formada por dos grandes partes: una red de comunicaciones (o red de telefonía móvil) y los terminales (o teléfonos móviles) que permiten el acceso a dicha red.

El avance de la tecnología ha hecho que estas terminales incorporen funciones que no hace mucho parecían futuristas, como juegos, reproducción de música MP3 y otros formatos, correo electrónico, SMS, agenda electrónica PDA, fotografía digital y video digital, video llamada, navegación por internet y hasta televisión digital. Las compañías de telefonía móvil ya están pensando en nuevas aplicaciones para este pequeño aparato que acompaña a sus usuarios a todas partes. Algunas de esas ideas son: medio de pago, localizador e identificador de personas.

Una red de telefonía necesita ser monitoreada y optimizada constantemente, para poder prestar los servicios antes mencionados y que los clientes tengan una buena percepción de la red, ya que es susceptible al ambiente que la rodea, el cual está cambiando cada día, sobre todo en las ciudades; por lo cual se convierte en una red dinámica.

Este trabajo de graduación dejará plasmado, los puntos a tomar en cuenta para mejorar el rendimiento de la misma, y para la corrección de errores en dicha red mediante el proceso de optimización el cual puede ser dividido en tres etapas, recolección de datos, análisis de rendimiento y la puesta a punto.

La primera etapa es la recopilación de datos. Se colecta datos como las estadísticas de red, niveles de señal y niveles de calidad. En la segunda etapa se procesan los datos colectados para mostrarlos de una forma más amigable y fácil de comprender. En la etapa tres el resultado de la información ya procesada se utiliza como entrada, para tomar una decisión sobre las medidas correctivas que se aplicarán.

Se debe tomar en cuenta que los procesos de optimización y planificación son repetitivos (cíclicos). Cuando el proceso de planificación ha terminado, inicia el de optimización, que viene a verificar el rendimiento y a corregir los errores si es necesario. Después de esto, se aplica de nuevo el proceso de planificación, para dar una futura expansión mediante el uso de los resultados obtenidos en el proceso de optimización.

Una red de telefonía necesita ser monitoreada y optimizada constantemente, para poder prestar los servicios antes mencionados y que los clientes tengan una buena percepción de la red, ya que es susceptible al ambiente que la rodea, el cual está cambiando cada día, sobre todo en las ciudades; por lo cual se convierte en una red dinámica.

# 1. HERRAMIENTAS DE MONITOREO

## 1.1. Herramientas

Las herramientas de monitoreo permiten conocer el uso de los recursos en el tiempo, el estado de las aplicaciones o servicios, entre otros. Indirectamente permite proyectar la adquisición de nuevos equipos o partes, prevenir futuros problemas e incluso solucionar problemas actuales.

### 1.1.1. Descripción general

Es necesario monitorear el rendimiento del sistema desde varios ángulos, y se necesitan algunas herramientas entre las cuales se encuentran:

- Terminal de prueba
- *Pilot scanner*
- Analizador de espectro

#### 1.1.1.1. Terminal de prueba

Es una herramienta poderosa para el análisis de RF. Este puede capturar constantemente datos de GPS y mediciones de radiofrecuencia del lado del equipo del usuario, por ejemplo, potencia transmitida por el móvil o la calidad recibida del canal piloto, durante las pruebas de campo. Además, puede conectar la información del GPS con los datos de radio frecuencia, y ver la información geográfica.

La terminal de prueba no puede proporcionar información estadística. Normalmente el ingeniero de radio frecuencia hace un estudio de las estadísticas de rendimiento para identificar las áreas problemáticas.

Hasta cuando se tiene cierto grado de conocimiento del problema, se procede con las pruebas de campo.

Otro inconveniente de los terminales de prueba es que no dispone de mediciones de la radio base. Esto se puede superar mediante el uso de recolector de tráfico del equipo de usuario (UETR) y la terminal de prueba, durante la prueba de dicha unidad. Se puede observar dos diferentes de terminales de prueba en las figuras 1 y 2.

Tabla I. **Parámetros observables en un terminal de prueba**

<b>Parámetro a observar</b>	<b>Descripción del parámetro</b>
CPICH_RSCP	Potencia recibida de la señal codificada, la potencia recibida en un código en el canal primario CPICH
DL_RSSI	Indicador de la señal recibida,
CPICH_Ec/No	Energía recibida por fragmento dividido por la densidad de potencia.
UE_TX_PWR	Potencia total del móvil transmitida en una portadora
TRC_BLER	Estimación en el canal de transporte de la tasa de error de bloque.

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. **Terminal para pruebas *indoor***



Fuente: GILL Trevor, *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P.28.

Figura 2. **Equipo de medición con Scanner**



Fuente: GILL Trevor, *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P.28.

### 1.1.1.2. Scanner de portadora

Es una herramienta que toma mediciones de CPICH\_RSCP y CPICH\_Ec/No, correlacionadas con coordenadas tomadas con GPS. Este puede ser usado para determinar relaciones de *handover* y evaluar las características de propagación, las cualidades del canal piloto, la ubicación del área de *soft handover* y la interferencia causada por la potencia de bajada (downlink), de otros sitios cercanos.

Normalmente los parámetros observables son los siguientes:

Tabla II. Parámetros observables en un scanner de portadora

Parámetro a observar	Descripción del parámetro
CPICH_RSCP	Potencia recibida de la señal codificada, la potencia recibida en un código en el canal primario CPICH
CPIC_Ec/No	Energía recibida por fragmento dividido por la densidad de potencia.

Fuente: elaboración propia.

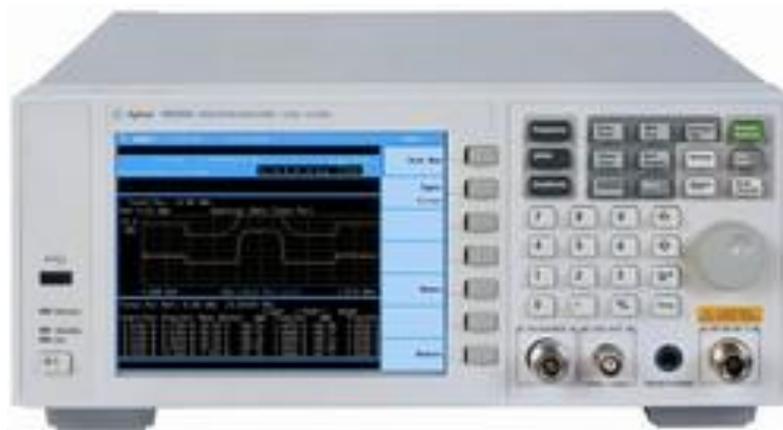
Si el RSSI en el downlink no puede ser medido directamente, puede ser calculado de la siguiente forma:

$$[RSSI]_{DL} = \frac{CPICH\_RSCP}{CPICH\_Ec/No}$$

### 1.1.1.3. Analizador de espectro

Es un analizador de características de los espectros de radio en el dominio de la frecuencia. Es usado para dar seguimiento a la interferencia, tanto interna como externa, en la banda de operación. En la fase de diseño inicial (sistema de cobertura limitada), puede ser utilizado para la verificación de nivel de interferencia de canales adyacentes de otros operadores, en un lugar donde el nivel de potencia de la frecuencia de operación pudiera ser muy baja.

Figura 3. Analizador de espectro



Fuente: GILL, Trevor. *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P.29.

## 1.2. Datos de entrada

El proceso de monitoreo debe disponer de datos sobre el uso de recursos y reportes y resúmenes que ayuden a sintetizar la información.

### **1.2.1. Descripción general**

Al monitorear la eficiencia de un sistema se necesitan varios puntos de vista, y varias formas de coleccionar datos son necesarias:

- Estadísticas de rendimiento
- Registro de rendimiento
- Archivos de registro de fallas de RNC y RBS
- Datos de parámetros

### **1.2.2. Estadísticas de rendimiento**

Estas son generadas por el tráfico cursado en las redes de radio y transporte. Las estadísticas de rendimiento están conformadas por un número de contadores propios del equipo. Combinando estos en algunas fórmulas definidas por el fabricante del equipo, con las cuales se generan reportes del rendimiento y de estadísticas para el monitoreo y optimización.

Las estadísticas del rendimiento son los datos más importantes que pueden proveer información de alto nivel sobre el comportamiento de la red. Los ingenieros de optimización estudian estos datos para identificar los problemas, y luego profundizar en los problemas detectados, mediante el uso de otras herramientas de obtención de datos.

### **1.2.3. Registro de rendimiento**

Es importante llevar un registro del rendimiento de la red, sobre todo en los siguientes aspectos: tráfico de equipo de usuario final (UETR), registro de tráfico de celda (CTR) y de eventos (GPEH).

UETR permite al operador hacer un registro de parámetros seleccionados en el protocolo de nodo, tanto en el UL como en el DL, en relación con algún móvil seleccionado. El operador puede enviar afuera un móvil de prueba o grabar tráfico en tiempo real, para investigar el rendimiento de la red en un área determinada o para verificar eventos específicos.

#### **1.2.4. CTR**

Permite al operador crear un registro seleccionado entre eventos de UL y DL, de una celda seleccionada.

#### **1.2.5. GPEH**

Es el responsable de la gestión de rendimiento de los eventos, definidos en el RNC y el RBS. Este se utilizará para el análisis detallado y la solución de problemas.

### **1.3. Consideraciones**

Deben tomarse en consideración elementos como el horario, las características del canal físico y el *drive test*.

#### **1.3.1. Horario**

El rendimiento de una red de radio frecuencia de un sistema UMTS varía con la carga, que es variante con el tiempo. Por lo tanto el horario de recolección de datos es un punto clave que se debe considerar en la optimización de un sitio.

Para la optimización y solución de problemas, si se produce una falla en un área cuando la carga es baja, se obtendrá una falla mayor cuando aumente la carga, en la hora pico.

Por el contrario, si un error ocurre en la condición de carga pesada, no será un error significativo en horario de baja carga. Por lo tanto, es recomendable tomar muestras del rendimiento de la red, tanto en la hora pico como en las horas de menor carga.

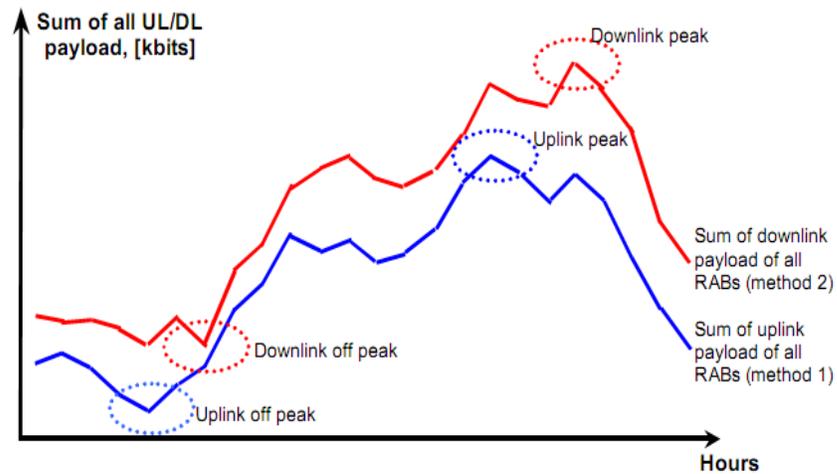
En GSM, excluyendo GPRS, la definición de hora pico (Busy Hour), y hora de menor carga son muy directas y simples porque GSM solo provee servicios de voz, y no de datos. Por lo mismo, las cargas de subida y bajada son las mismas.

En UMTS, se tienen múltiples servicios compatibles con esta tecnología, y la carga ascendente no es simétrica con la carga descendente. Por lo tanto, es necesario definir la hora pico, y la hora de menos carga de un sistema UMTS.

Se presentan algunos métodos para calcular la hora pico y la hora de menor carga para un sistema UMTS:

- La suma de la carga útil de subida para todos los accesos a la portadora RAB [kbits].
- La suma de la carga útil de bajada para todos los accesos a la portadora RAB [kbits], según se observa en la figura 4.
- La suma de todos los RABs de las cargas de subida y de bajada [kbits].

Figura 4. Definición de hora pico de acuerdo a los métodos uno y dos



Fuente: GILL, Trevor. *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P.30.

Para determinar las horas pico, por ejemplo el máximo de carga útil entre las cargas de subida y de bajada puede ser estudiado, según se observa en la figura 4.

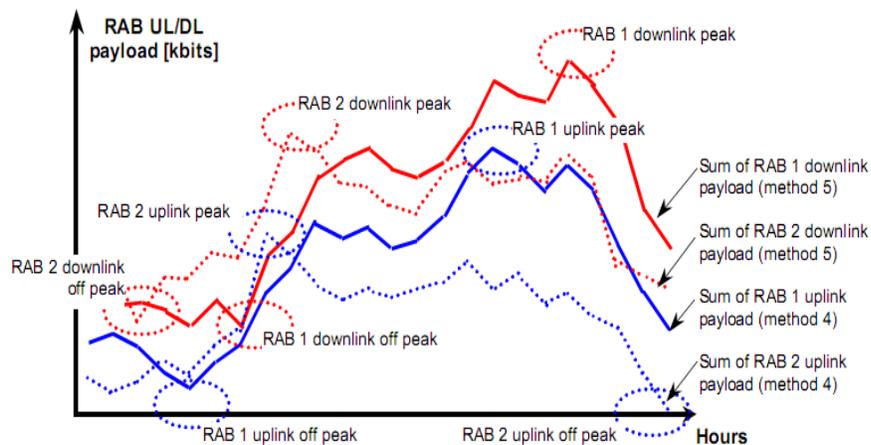
Tabla I. Sumas de todas las cargas de subida y bajada

Hour	Sum of all UL payload in kbits	Sum of all DL payload in kbits	Payload for	Payload for off peak hour determination
00:00 - 01:00	11	20	20	11
01:00 - 02:00	50	23	50	23
02:00 - 03:00	43	78	78	43
03:00 - 04:00	36	90	90	36
Off peak hour 04:00 - 05:00	12	40	40	10
05:00 - 06:00	45	32	45	32
06:00 - 07:00	44	83	83	44
07:00 - 08:00	65	12	65	12
08:00 - 09:00	96	16	96	16
09:00 - 10:00	46	43	46	43
Peak hour 10:00 - 11:00	97	36	97	36
11:00 - 12:00	25	12	25	12
12:00 - 13:00	67	65	67	65
13:00 - 14:00	21	82	82	21
14:00 - 15:00	76	19	76	19
15:00 - 16:00	18	32	32	18
16:00 - 17:00	78	50	78	50
17:00 - 18:00	84	43	84	43
18:00 - 19:00	36	44	44	36
19:00 - 20:00	86	65	86	65
20:00 - 21:00	65	63	65	63
21:00 - 22:00	82	36	82	36
22:00 - 23:00	38	12	38	12
23:00 - 24:00	21	82	82	21

Fuente: GILL, Trevor. *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P.31.

La suma de un simple RAB de la carga de subida y la suma de un simple Rab en la carga de bajada, pueden verse en la figura 5.

Figura 5. Suma simple de cargas de subida y bajada



Fuente: GILL, Trevor. *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P.32.

La suma de la carga de subida y bajada [kbits] de un único RAB, es similar al método 3, pero en lugar de sumar todos los RAB se usa solo uno.

La definición de la hora más cargada y la hora de menos carga de acuerdo con los métodos del 1 al 6, pueden aplicarse no solo a una celda sino también a una RBS y a un RNC. Para un RBS, toda la carga de las celdas asociadas a la RBS es sumada. Para una RNC, toda la carga de cada una de las celdas asociadas al RNC es sumada.

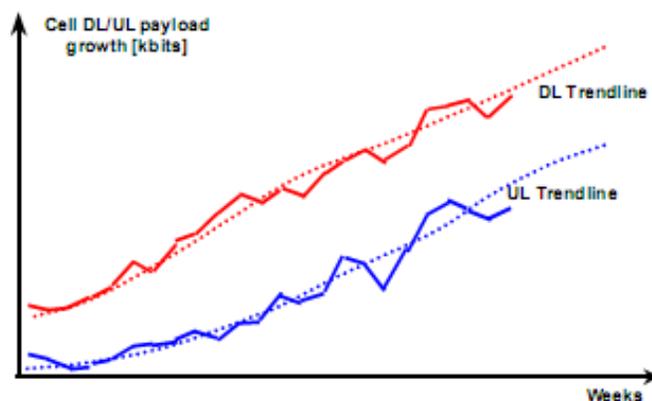
El rendimiento basado en la hora pico y la hora de menor carga que se obtienen de un único RAB, no provee la suficiente información para la optimización, ya que el rendimiento depende de toda la carga de la celda, no es individual de la carga de un solo RAB. Sin embargo, el estudio de las variaciones de carga individual de cada RAB puede ayudar a crear perfiles de servicio para dimensionamiento de la red.

Información de rendimiento basada en información obtenida en la hora pico y hora de menor carga obtenida, de la potencia registrada o de la carga de todos los RABs en uso, es usada para optimización. La potencia registrada puede reflejar la capacidad actual de una interfaz de aire, incluyendo las contribuciones propias y las de otras celdas; por otra parte, la carga de todos los RABs refleja el tráfico de la propia celda.

El monitoreo de largo plazo, puede ayudar para hacer un análisis de la tendencia tanto en el UL como en el DL; el hecho de que se vean como datos discretos puede quedar en segundo plano respecto de la información que puede brindar una medición de este tipo.

El periodo de medición puede ser tan largo como sea posible, esto depende de la capacidad de almacenamiento que se tenga; se puede observar en la figura 7, las líneas de tendencia, tanto de carga descendente como ascendente.

Figura 6. **Tendencia de carga y descarga por semana**

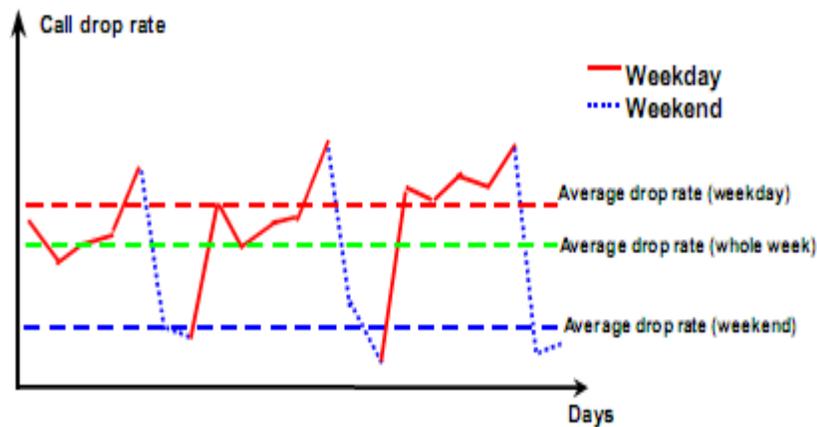


Fuente: GILL, Trevor. *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, London*. P.33.

El rendimiento puede ser monitoreado durante periodos de tiempos iguales, día a día, semana a semana, mes a mes, etc. Para ver cuál es el cambio que sufre la red por cada periodo de tiempo, por ejemplo, la eficiencia en una zona universitaria puede cambiar considerablemente de los días entre semana, comparados con los días de fin de semana; puede observarse como ejemplo la figura 8.

Si el promedio del rendimiento es considerado por separado entre los días entre semana y los de fin de semana, se verá una diferencia muy grande.

Figura 6. **Proporción de caídas de llamadas**



Fuente: GILL, Trevor. *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P.33.

### 1.3.2. **Características de canal físico**

Cuando un equipo móvil está conectado a una red, puede ser de dos diferentes tipos de canales de conexión que son los siguientes:

- Canal común: es el encargado de enviar la señalización a todos los teléfonos que se encuentran en el área de cobertura de la celda; en este canal se envían mensajes de broadcast.
- Canal dedicado: se encuentra dedicado para el móvil mientras se encuentra conectado a la celda; en este canal viaja mensajería, y también voz y datos

Estos dos canales necesitan ser monitoreados independientemente.

Es común observar la eficiencia de subida y bajada por separado, en GSM es simétrica la carga de bajada como subida, a diferencia de UMTS que necesita mayor énfasis en el monitoreo de esto, debido a que la carga de subida y de bajada son asimétricas.

Las configuraciones RAB quedan estrictamente ligadas al fabricante del equipo, ya que en algunos casos llega a haber diferencia entre los parámetros que existen entre un equipo y otro, para hacer una reelección, un *handover*, etc. Por ejemplo en GSM, se puede hacer una solicitud de *handover* por malos niveles de calidad; en el *uplink* o en el *downlink*, también se puede hacer una solicitud de *handover* por distancia, y así se podrían seguir enumerando dichos parámetros; también hay que señalar que estos parámetros pueden tener diferente nombre dependiendo de la marca del equipo con el que se esté trabajando, y los valores de configuración de cada uno queda a discreción del ingeniero de optimización.

### **1.3.3. Drive test**

Cuando se hace *drive test*, el ingeniero de optimización necesita considerar la ruta en la que se realizarán las pruebas, generar la carga y considerar llamadas cortas y largas, para tener un panorama amplio de lo que está sucediendo en el área de prueba.

Uno de los puntos más críticos al hacer *drive test* es hacer el plan para la ruta de prueba. El ingeniero de campo debe de verificar siempre el plan de ruta con el ingeniero de diseño y con el ingeniero de optimización; ellos son las personas que entienden cuál es el plan de diseño original, y también con personal local, que son quienes poseen el conocimiento del entorno local.

Se debe planificar la ruta tomando en cuenta las principales calles del área de cobertura del sitio o los sitios en proceso de optimización.

Si la calle en cuestión es de doble vía, se debe evaluar en ambos sentidos, para verificar que los *handovers* se estén ejecutando correctamente, y así poder evitar posibles caídas de conexión.

Para llamadas de voz, el factor de actividad debe simular que se está realizando una conversación real, donde se asume que la persona habla la mitad del tiempo. Esto debe ser simulado en el *downlink* por la conexión del equipo de respuesta, con oraciones de prueba grabadas en la red.

En el caso del *uplink*, para simular una conversación, se debe reproducir una oración pregrabada en el equipo de medición, en forma similar a la utilizada para el *downlink*.

Para servicios de 64 Kbps, los datos de tráfico pueden ser generados tanto de subida como de bajada, por ejemplo de un FTP, los archivos pueden ser transferidos desde y hacia un servidor de FTP, conectado directamente a la red.

Para servicio de paquetería de datos, es necesario generar un paquete de datos; esto quiere decir un archivo de transferencia a un FTP, desde y hacia un servidor FTP, conectado directamente a la red, debido a que internet no es confiable como fuente de datos por los cambios constantes en la velocidad y los retrasos de paquetes de datos.

La duración de las llamadas es muy importante a la hora de realizar un *drive test*; los dos tipos de llamada que se deben realizar son las siguientes:

- Llamada corta: esta sirve para verificar la accesibilidad en el área que es objeto de estudio por el ingeniero de optimización; la duración de estas llamadas, el tiempo de desconexión y el tiempo entre una llamada y otra, queda a discreción del ingeniero de optimización.
- Llamada larga: esta sirve para verificar que el sistema sea capaz de sostener una llamada en toda la ruta del *drive test*, verificar la calidad de la conexión, y el área efectiva de cobertura del sitio identificando los *handovers* entre sitios, y así la interoperabilidad de la red en el área de estudio.

## 2. ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

### 2.1. Conceptos básicos

Conocer el ambiente de radiofrecuencia es esencial cuando se necesita optimizar un sistema de telefonía móvil.

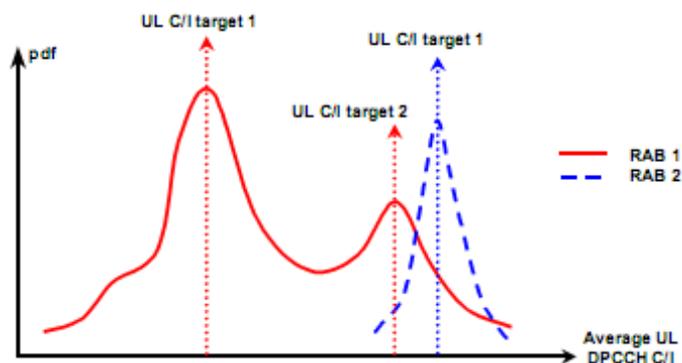
#### 2.1.1. Ambiente de radio frecuencia

En el ambiente de radio frecuencia se dan las siguientes características:

- Características de propagación: el tener un buen entendimiento de las características de propagación, puede ser usado para predecir el rango de la celda y así determinar las causas de desconexión, por ejemplo algunas de las características de propagación que podrían ayudar a entender mejor esto son, cobertura *outdoor*, cobertura *indor*, efecto cuchillo, etc.
- Características de trayectoria múltiple: el C/I requiere de un canal físico dedicado y es dependiente de algunas características de trayectoria múltiple. Las variaciones de trayectoria múltiple son afectadas por el efecto de desvanecimiento y la velocidad del suscriptor.
- Interferencia externa: la interferencia externa reduce la capacidad del sistema; por lo tanto es de vital importancia determinar el origen de la misma, por ejemplo, sistemas de microonda, canales adyacentes UMTS, y coexistencia de sistemas GSM.

- El comportamiento del canal de radio frecuencia puede ser estudiado para cada RAB en una celda; o en un plan de distribución, el promedio de subida del DPCCH C/I. El objetivo del C/I de un RAB puede variar con el ambiente.

Figura 8. **Comportamiento de C/I en diferentes ambientes**



Fuente: GILL, Trevor. *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P 34.

### 2.1.2. Perfil de tráfico

Un bajo dimensionamiento puede dar como resultado un alto bloqueo en la celda. El evitar el bloqueo de celda es uno de los puntos clave en la optimización de una red. Entre estos se puede citar:

- La relación de carga útil de subida y de bajada
- La relación de carga útil de uno de todos los RABs
- El porcentaje de móviles en 1, 2, 3 y 4 vías de *handover*, respectivamente

Verificar la carga en hora pico y en la hora de menor ocupación por cada configuración del RAB. Nota: los contadores que van a tomarse en cuenta dependen del fabricante del equipo.

### 2.1.3. Características de radio frecuencia en UMTS

El canal piloto (pilot chanel) juega un papel importante en un sistema UMTS. Es usado para la estimación del canal y para evaluar las mediciones en los algoritmos de *handover* y reelección. La relación de la calidad medida entre los dos canales piloto determina el área de *handover*.

La calidad del canal piloto de una celda  $i$ ,  $[Ec/No]_{CPICH,i}$  es definida como:

$$[Ec / No]_{CPICH, i} = \frac{[RSCP]_{CPICH, i}}{[RSSI]_{DL}}$$

Donde

$[RSCP]_{CPICH, i}$ , es la potencia de la señal del canal piloto de la celda  $i$ .

$[RSSI]_{DL}$ , es la potencia total de una portadora de bajada.

$[Ec/No]_{CPICH,i}$ , también puede ser escrito de la siguiente manera:

$$[Ec / No]_{CPICH, i} = \frac{P_{Pilot, i}}{\sum_{k=1, t \subseteq k}^{allcells} \frac{L_i}{L^k} + N_{UE}}$$

Donde:

$P_{Pilot, i}$  = potencia transmitida por el canal piloto de la celda  $i$

$L_i$  = patrón de atenuación de la celda  $i$  hacia el móvil

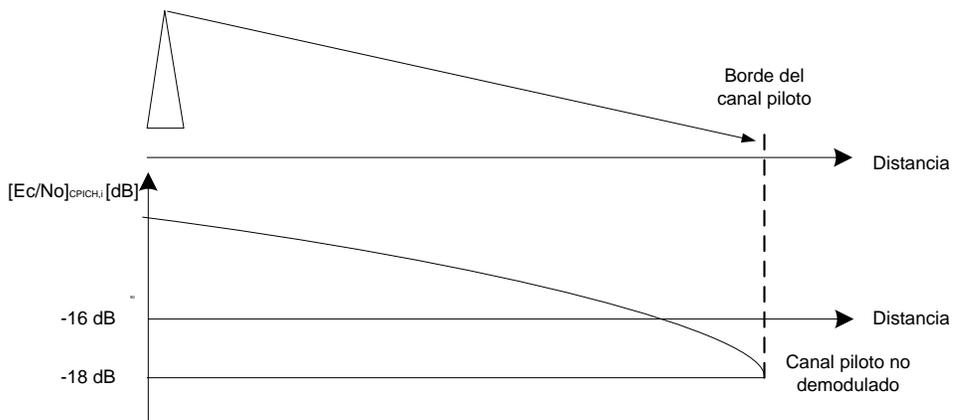
$k$  = celda en el sistema UMTS

$L_k$  = patrón de pérdida de la celda  $k$  hacia el móvil

$P_{Tot,k}$  = potencia total de bajada transmitida de la celda K  
NUE = ruido de piso

Cuando la señal del canal piloto cae por debajo de los -16dB, el receptor no funciona correctamente en la decodificación del canal. Si cae por debajo de los -18dB, el canal piloto no logra ser desmodulado (ver la figura 9).

Figura 9. **Ec/No contra distancia**



Fuente: elaboración propia.

Cuando se investiga una desconexión de llamada, el ingeniero de campo debe observar las variaciones en los principales parámetros observables DL\_RSSI, CPICH\_RSCP<sub>i</sub>; y el CPICH\_Ec/No se obtiene [RSSI]<sub>DL</sub>, y  $[E_c/N_o]_{CPICH,i}$ , con esto se puede encontrar algunas veces las razones por las cuales ocurre la desconexión.

En UMTS, el receptor de la señal del canal piloto de potencia o calidad es usado para evaluar ejecuciones de *handover* o procesos de reelección de celda.

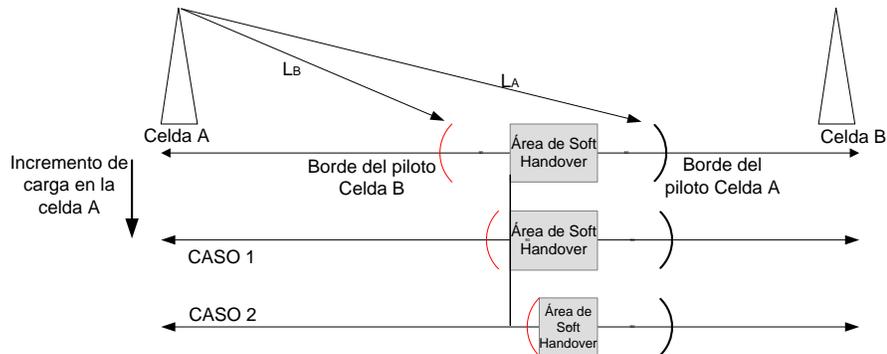
En las dos evaluaciones se hace una comparación relativa entre la celda que está dando el servicio y la lista de vecinos. Por ejemplo, la relación de *handover* entre la celda A y la celda B para un móvil ubicado en una ubicación particular es:

$$\frac{[Ec/No]_{cpich,A}}{[Ec/No]_{cpich,B}} = \left( \frac{P_{pilot,A}}{L_a} \right) / \left( \frac{P_{pilot,B}}{L_b} \right) = \frac{[RSCP]_{CPICH,A}}{[RSCP]_{CPICH,B}}$$

El resultado de la ecuación anterior se puede concluir en dos puntos importantes:

- *Ec/No* y *RSCP* el criterio de evaluación puede dar como resultado la misma ubicación del área de *soft handover*. También, si la potencia de los dos pilotos es la misma, el criterio vendrá a realizar será igual a una evaluación del patrón de atenuación.
- La ubicación del área de *soft handover* es independiente de la carga del sistema a menos que el borde del piloto se mueva dentro de la zona de *soft handover* debido a la alta carga del sistema.

Figura 10. **Área de soft handover**



Fuente: elaboración propia.

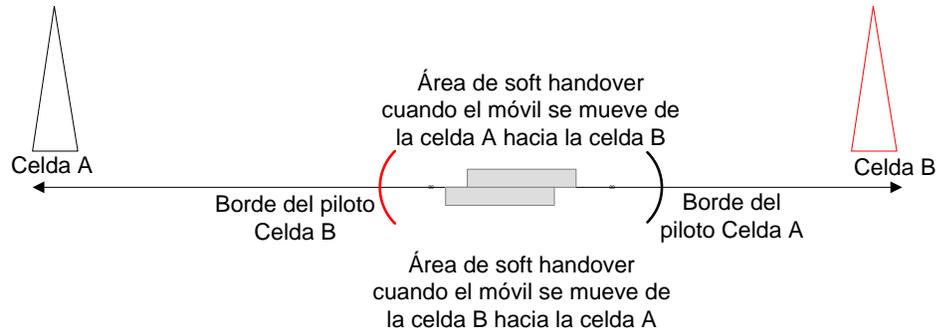
Cuando incrementa la carga en la celda A, los bordes de los pilotos de ambas celdas cambian porque el *downlink* del RSSI incrementa simultáneamente.

El borde del piloto de la celda B cambia más que el piloto de la celda A, porque incrementa la interferencia del *downlink* de la celda A hacia la celda B  $P_{Tot,A}/L_B$  es más alta que la potencia de bajada de la celda A,  $P_{Tot,A}/L_A$ . Pueden darse los siguientes casos:

- Caso 1: el área de *soft handover* no cambia con la carga.
- Caso 2: una parte del área de *soft handover* es recortada porque el borde del piloto de la celda B se movió dentro del área del mismo.

En la figura 11, el área de *soft handover* (área gris), es presentada en una sola vía. Realmente el área de *soft handover* depende del movimiento de los usuarios como se ve en la figura 11.

Figura 11. **Histéresis en el proceso de *handover***



Fuente: elaboración propia.

Para simplificar el análisis se utilizará el área de *soft handover* presentada en la figura anterior.

La señal y la interferencia recibidas,  $[C/I]$  en el uplink DPCH son:

$$[C/I]_{recibid} = \max \left( \frac{P_{UE\_TX}}{N_{BS,i}} \frac{1}{L_i I_{UL,i}} \right) \quad i \in (1, \dots, AS)$$

Donde

- PUE\_T = la potencia transmitida por el móvil,
- NBS,i = el ruido de piso de la estación base de la celda i,
- Li = el patrón de pérdida entre el móvil y la celda i,
- IUL,i = el ruido de piso de la celda i,
- AS = el número de enlaces de radio frecuencia del teléfono que está haciendo *soft handover*. Si el móvil no está haciendo *soft handover*, AS es igual a 1.

El canal DPCH requiere potencia  $P_{Req\_UE\_TX}$  para cumplir con objetivo del  $[C/I]_{target}$  que es:

$$P_{Req\_UE\_TX} = [C/I]_{target} \min(N_{BS,i}, I_{UL,i}, L_i) \quad i \in (1, \dots, AS)$$

Estas ecuaciones del DPCH de subida tienen importantes consecuencias relacionadas con la optimización de una red UMTS. Cuando un móvil transmite la potencia máxima permitida pero la calidad de la señal sigue siendo menor de lo necesario, esto confirma que el móvil ha llegado a la frontera de subida del DPCH. El rendimiento de subida del DPCH es afectado por el aumento del ruido de subida.

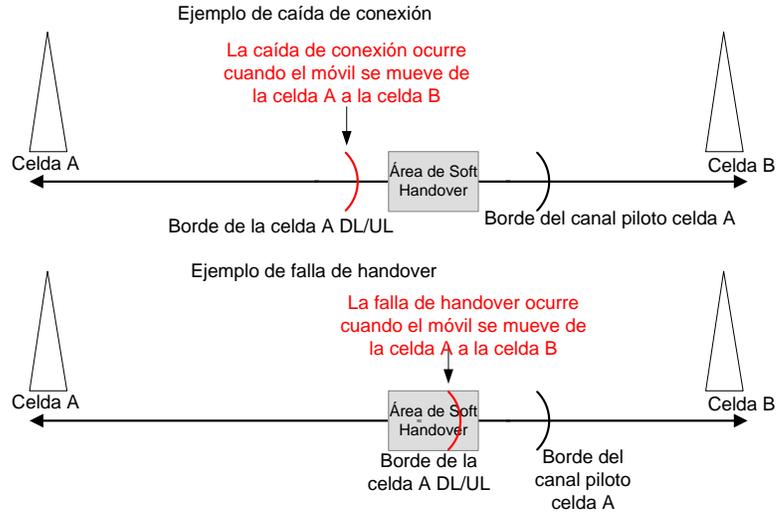
En P1, no es un algoritmo para limitar directamente el aumento del ruido. Por lo tanto cuando los problemas aparecen en la señal ascendente, todas las celdas activas deben ser controladas.

Entonces, por una celda con el mínimo  $IUL^*L$ , el aumento en el ruido de subida puede ser controlado si se detecta cualquiera de las dos posibles causas: sobrecarga de subida o un excesivo patrón de pérdidas de subida.

El rendimiento de subida del DPCH depende de donde se fijaron los objetivos del BLER de subida. Si el objetivo del BLER es fijado en un valor muy bajo, la cobertura del DPCH decrecerá y los móviles introducirán más interferencia de subida a otras celdas. Y en la contraparte, si el objetivo es fijado a un valor muy alto, se puede obtener mala calidad.

La cobertura de subida DPCH varía con la carga. Sin embargo, el área de *soft handover* no varía con la carga. Por lo tanto, la tarea principal para optimizar el canal físico de subida es hacer que el DPCH pueda cubrir enteramente el área de *soft handover*. De lo contrario caídas de conexión o fallas en la ejecución de *handover* pueden ocurrir, como se puede observar en la figura 12.

Figura 12. **Caída de conexión por falla de *handover***



Fuente: elaboración propia.

En el canal físico dedicado de bajada, la señal y la interferencia recibida,  $[C/I]$  recibida en el downlink DPCH es:

$$\begin{aligned}
 [C/I]_{recibid} &= \sum_{k=1}^{AS} \frac{\frac{P_{DPCH}}{L_k}}{\frac{\alpha_k P_{Tot, k} + (1 - \alpha_k) P_{Sch, k}}{L_k} + \sum_{n=1, n \neq k}^{BS} \frac{P_{Tot, n}}{L_n} + N_{UE}} \\
 &= P_{DPCH} \sum_{k=1}^{AS} \frac{1}{\alpha_k P_{Tot, k} + (1 - \alpha_k) P_{Sch, k} + L(I_{other, k} + N_{UE})}
 \end{aligned}$$

Donde:

DPCH = la potencia transmitida en el DPCH de bajada. Debido a control de potencia de bajada, la potencia de cada uno de los vínculos físicos de cada uno de los solicitantes de *handover* es la misma.

PTot, k = la potencia total transmitida en la celda k

PSch,k = la potencia transmitida en el canal de señalización en la

- celda k
- L<sub>k</sub> = el patrón de atenuación entre la celda k y el móvil
- α<sub>k</sub> = el factor de ortogonalidad en la celda k
- N<sub>UE</sub> = el ruido de piso del móvil
- I<sub>other,k</sub> = son otras celdas que causan interferencia a la celda k desde el punto de vista del móvil.
- AS = un número de enlaces de radio frecuencia del teléfono que está ejecutando un *soft handover*. Si el teléfono no está haciendo *soft handover*, AS es igual a 1.

El canal DPCH requiere potencia P<sub>Req\_DPCH</sub> para cumplir con objetivo del [C/I]<sub>target</sub> que es:

$$P_{Req\_DPCH} = \frac{[C/I]_{target}}{\sum_{k=1}^{AS} \frac{1}{\alpha_k P_{Tot,k} + (1 - \alpha_k) P_{Sch,k} + L(I_{other,k} + N_{UE})}}$$

Estas ecuaciones del DPCH de bajada tienen importantes consecuencias relacionadas con la optimización de una red UMTS.

Cuando la calidad de la señal recibida no alcanza el valor deseado, y el valor máximo de DPCH ha sido alcanzado, la potencia puede ser ajustada a un valor más alto. Vale la pena recordar que este mismo problema para el DPCH de subida no puede ser solucionado igual que en la bajada, porque la potencia de transmisión del móvil está estrictamente limitado por el diseño del móvil.

El rendimiento del enlace descendente DPCH es la potencia de todos los enlaces descendientes de las celdas que forman parte del sistema.

En P1, la máxima potencia permitida de transmisión en el enlace descendente puede ser limitada por la capacidad de la función de manejo. Esto quiere decir que la máxima interferencia posible al enlace descendente RSSI en una celda puede ser controlada.

El rendimiento de subida del DPCH depende de donde se fijaron los objetivos del BLER de bajada.

Cuando el BLER es fijado en un valor bajo, la potencia total de transmisión de la celda se incrementará, porque la potencia DPCH se incrementará para cada usuario, intentando cumplir con los requerimientos de alta calidad de cada uno de ellos. Por el otro lado, si el valor del BLER se fija en un valor muy alto, se puede obtener mala calidad.

La cobertura de bajada DPCH varía con la carga. Sin embargo, el área de *soft handover* no varía con la carga. Por lo tanto, la tarea principal para optimizar el canal físico de subida es hacer que el DPCH pueda cubrir enteramente el área de *soft handover*. De lo contrario, caídas de conexión o fallas en la ejecución de *handover* pueden ocurrir.

#### **2.1.4. Revisión del plan de radio frecuencia**

El ingeniero de optimización puede hacer una revisión del plan de radio frecuencia de la red antes de empezar con la optimización.

Los diferentes sistemas pueden tener sus propios diseños y requerimientos especiales.

La lista a revisar puede contener lo siguiente:

- Manejo de capacidad, planificación de carga de subida y bajada de la celda, máximo RSSI permitido en el canal de subida.
- *Handover*, parámetros de *handover*.
- Control de potencia máxima y mínima permitido, en el canal de subida.
- Tiempo, supervisión de contadores por conexión de radios.
- Plan de códigos, código de enlace descendente, de codificación para cada celda.

## **2.2. Recomendaciones para optimización**

La optimización de las redes móviles puede ayudar a satisfacer la demanda del usuario y a sacar el máximo partido de las actuales inversiones en la red.

### **2.2.1. Descripción general**

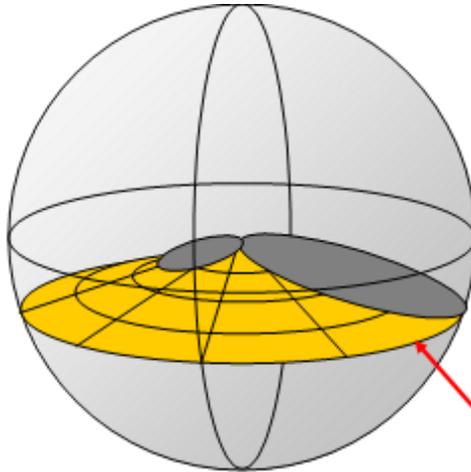
El rendimiento en la optimización y monitoreo de una red móvil se enfoca en los siguientes aspectos:

- Continuidad de servicio
- Accesibilidad
- Calidad de servicio

Respecto del uso de *downtilt*, existen dos clases:

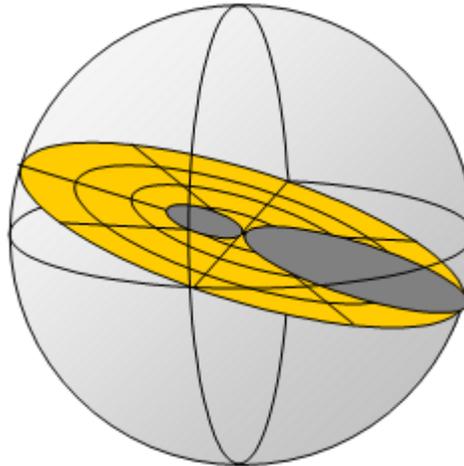
- *Tilt* eléctrico: es el más recomendable de usar ya que controla todos los lóbulos de radiación, tanto el frontal como los laterales y los lóbulos traseros, se puede hacer la analogía como si el patrón de radiación se apoyara en un cono, como se observa en la figura 13.
- *Tilt* mecánico: este se recomienda usar cuando ya no se cuenta con tilt eléctrico variable o el *downtilt* eléctrico esté al máximo. Se puede hacer analogía como si el patrón de radiación estuviera montado en un disco, como se observa en la figura de 14.

Figura 13. ***Tilt* eléctrico**



Fuente: GILL, Trevor. *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P.36.

Figura 14. **Tilt mecánico**



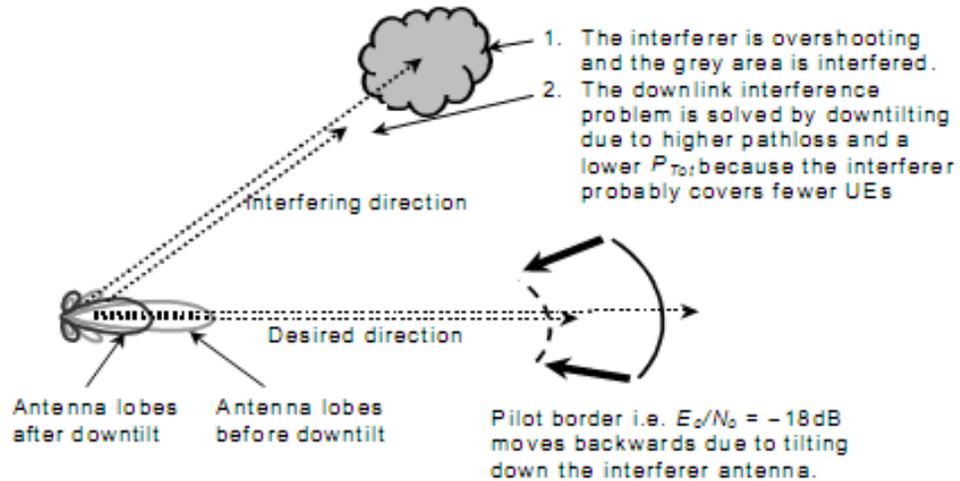
Fuente: GILL, Trevor. *Radio planning and optimization – the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. P.36.

La manera más efectiva para remover interferencias de bajada es incrementar la atenuación en el área entre el interferente y el interferido, por ejemplo:

- Aumentar la inclinación hacia debajo de la antena interferente (down tilt);
- Reducir la altura de la antena interferente;
- Cambiar la orientación de la antena interferente;
- Cambiar la antena interferente por una con menores lóbulos laterales.

Después de los cambios de configuración de la antena, el interferente probablemente cubrirá menos usuarios, y transmitirá una potencia menor de bajada. Esto quiere decir que la celda contribuirá de una menor forma en el área interferida, como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Zona de interferencia



Fuente: AGHBAMI, Hamid, Dohler Mischa & Nawrockil Maciej J. *Understanding UMTS Radio Network Modeling, Planning and Automated Optimization*. P.73.

Cuando una celda sufre interferencia desde otras celdas del sistema o por sistemas externos, la solución directa es incrementar la atenuación entre la celda interferida y el interferente.

En contraste con la interferencia del canal de bajada, es muy difícil identificar las fuentes de interferencia. Por lo tanto, se hacen las siguientes modificaciones en la celda interferida, en lugar de la interferente:

- Aumentar la inclinación hacia debajo de la antena interferida (*down tilt*).
- Reducir la altura de la antena interferida
- Cambiar la orientación de la antena interferida
- Cambiar la antena interferida por una con menores lóbulos laterales
- Cambio de carga

Cuando una celda tiene alta la tasa de bloqueo, incrementa el patrón de atenuación y puede haber un cambio en la carga hacia las celdas vecinas. Y se puede alcanzar de la siguiente manera:

- Dándole *tilt* hacia abajo a la antena de la celda que tiene alta tasa de bloqueo;
- Reduciendo la altura de la antena que tiene alta tasa de bloqueo.

Estas modificaciones reducen todos los bordes de cobertura, incluyendo UL/DL Dichas y UL/DL Coches y las áreas de soft *handover*.

Las desventajas de incrementar el patrón de atenuación en una celda son:

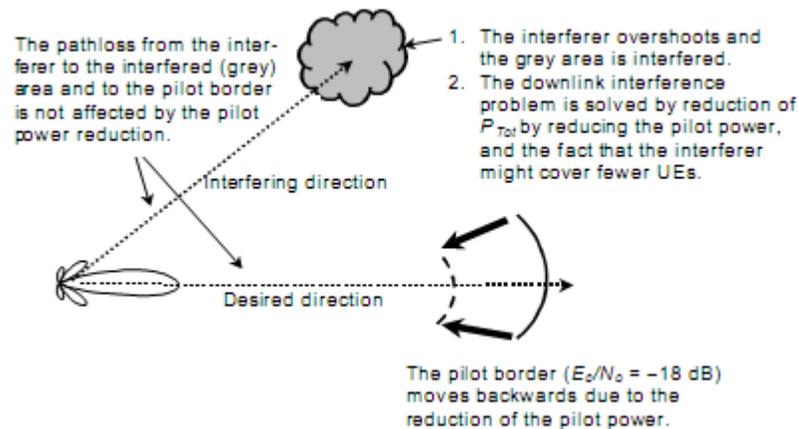
- El área de cobertura de las celdas vecinas de la celda modificada crecerá y absorberá usuarios adicionales. El riesgo de un alto bloqueo en esas celdas crecerá.
- Las celdas empezarán a transmitir con una alta potencia en el canal de bajada, después de que la configuración de una antena cambie pueden convertirse en interferentes en el área en la que se redujo la cobertura.
- Caídas de conexión o fallas en las ejecuciones de *handover* debido a la posible falta de sincronía que puede ocurrir si ninguna de las celdas vecinas tiene la suficiente potencia en el canal de subida para ser el mejor servidor en esa área.

### 2.2.2. Modificación en la potencia del canal piloto

Reduciendo la potencia de portadora, potencia primaria CPICH, de la celda interferente, pueden venir los siguientes problemas de interferencia:

- La potencia total de bajada de los canales comunes interferidos decrece. Cuando la potencia piloto es reducida, la de todos los otros canales comunes decrecen simultáneamente debido a que el ajuste de sus parámetros son fijados de forma relativa al valor de la potencia piloto.
- El total de la potencia del canal de bajada DPCH que es interferente, probablemente puede decrecer porque la cobertura del interferente cubrirá menos equipos móviles.

Figura 16. Interferencia al disminuir los niveles de potencia de salida



Fuente: AGHBAMI Hamid, Mischa & Maciej J. *Understanding UMTS Radio Network Modeling, Planning and Automated Optimization*. P.73.

Al reducir el canal piloto se puede notar que:

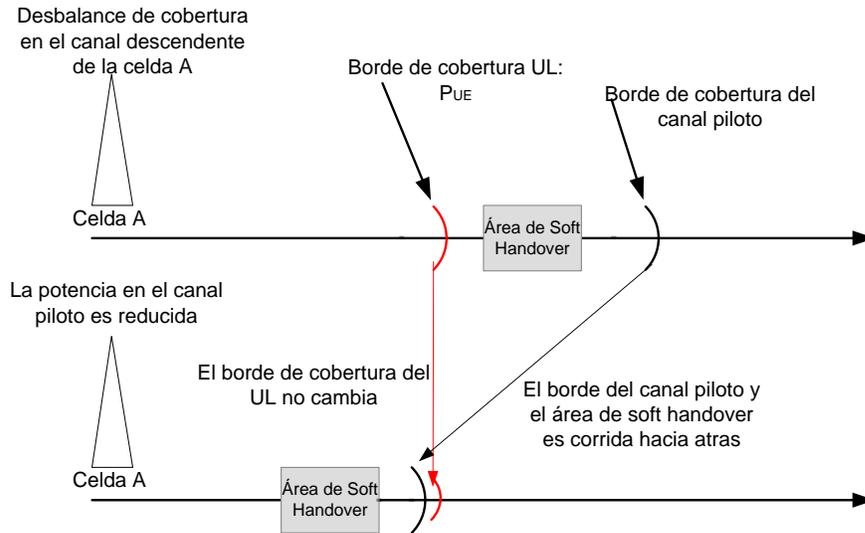
- La reducción de la potencia del canal piloto no afecta el patrón de atenuación. Por lo tanto, cuando la carga de celda interferente incrementa gradualmente, los problemas de interferencia ocurrirán de nuevo en la misma área previamente interferida.
- Reducir la potencia del canal piloto no es lo adecuado cuando se tiene una capacidad limitada de interferencia. El total de la potencia de transmisión de bajada que no se usa por limitar la potencia de bajada en los canales de control, es usada nuevamente por los nuevos canales DPCHs.

Cuando el borde de cobertura de subida (PRACH o DPCH) no puede llegar al área de *soft handover*, la cobertura del piloto es más larga que la de subida. La única manera de resolver este problema es reducir la potencia del piloto (potencia primaria del CPICH). Esta modificación reducirá la cobertura de bajada y hará un corrimiento hacia atrás, del área de *soft handover*.

Nada se puede hacer del lado de la potencia de subida ya que está restringida por el diseño del móvil.

Para el siguiente caso se asumirá el valor máximo de transmisión permitido para un teléfono móvil, que es de 33 dBm.

Figura 17. **Desbalance de potencia**



Fuente: elaboración propia.

El incremento de la potencia del piloto de una celda con baja carga puede llenar hoyos de cobertura de las celdas vecinas. Esta modificación es lo mismo que incrementar el área de cobertura del piloto y mover hacia las celdas vecinas el área de *soft handover*; cuando se hace esto se debe tener la precaución de no crear desbalance de cobertura.

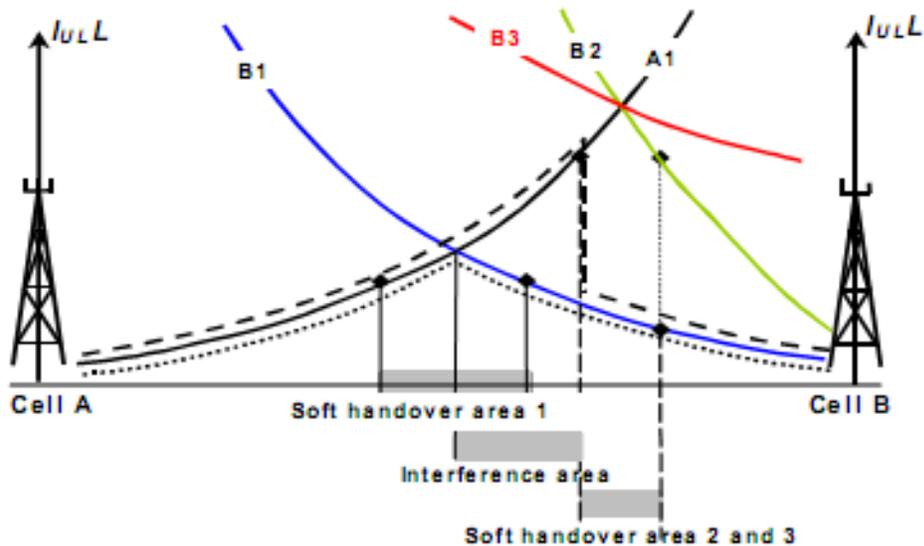
Cuando se ha dado el caso de cambio de carga descendente, al disminuir la potencia del piloto de una celda que está teniendo alta tasa de bloqueo, puede cambiar la carga de las celdas vecinas.

Esta modificación es lo mismo que disminuir el área de cobertura de bajada y hacer hacia atrás el área de *soft handover*.

Algunas desventajas de reducir la potencia del canal piloto de una celda son:

- Las celdas vecinas de la celda modificada pueden absorber usuarios adicionales y cubrir un área más larga. Así que podría llegar a sufrir bloqueo de celda. Si esto llega a ocurrir, se puede tomar otra solución en lugar de emplear la reducción de la potencia del canal piloto, por ejemplo agregar otro sitio, o un cambio en la configuración de la antena.
- Las celdas que se encuentran radiando potencia muy alta en el canal de bajada, debido a que se incrementó la potencia en el piloto, podría llegar a convertirse en interferentes, si no se controla de una forma adecuada su área de cobertura.
- Las caídas de conexión o fallas de *handover* pueden ocurrir debido a la pérdida de sincronía tanto en el canal de bajada como el de subida; esto puede ocurrir si las celdas vecinas de la celda modificada no tiene la suficiente área de cobertura en ambos canales.
- El cambiar la potencia del piloto puede llevar a problemas de equilibrio de cobertura descendente y ascendente.
- En caso de una configuración desigual en la potencia del piloto, se genera excesiva interferencia en el canal de subida desde los móviles conectados a las celdas vecinas, cuando estas están ubicadas cerca del borde de la celda. Estos móviles transmitirán con alta potencia. El objetivo es cambiar la carga en el *uplink*, la reducción de la potencia del piloto en este caso, no es recomendable (ver figura 18).

Figura 18. **Desbalance de potencia en el canal piloto**



Fuente: AGHBAMI Hamid, Mischa & I Maciej J. *Understanding UMTS Radio Network Modeling, Planning and Automated Optimization*. P.74.

- Caso 1: la celda A y la celda B en la figura 18 tienen la misma configuración de la potencia del piloto, y las curvas A1 y B1 por el producto del patrón de atenuación y el pico del ruido de subida, IULL. El *soft handover* ocurre en el área 1 de *soft handover*. El control de potencia sigue proporcionando un menor IULL; esto se muestra en la línea punteada.
- Caso 2: la potencia del piloto en la celda A es incrementada. IULL, sin embargo siguen siendo las mismas curvas de A1 y B1; el área de *soft handover* es movida hacia la celda B (área de *soft handover* 2 y 3). Los teléfonos móviles en el área de la celda A llamada área de interferencia, generan excesiva interferencia hacia la celda B, porque el control de potencia ahora ya no sigue proporcionando a la celda la IULL más baja,

pero permanece en la celda A; esto es mostrado por la línea punteada en la figura 18: la capacidad de subida en la celda B decrecerá.

- Caso 3: la celda A y B en la figura 18 tienen la misma configuración. Sin embargo, la antena de la celda B es ajustada a una atenuación más alta. La curva de IULL en la celda B cambiará a la curva B2; esta configuración no genera excesiva interferencia en el canal de subida hacia la celda B; el *soft handover* todavía está en la zona de *soft handover 2 y 3*.

La interferencia producida por los móviles hacia la celda B en el caso 2, es dependiente de la diferencia de las potencias de ambos pilotos, de cuantos móviles hayan cambiado de la celda B hacia la celda A y de la distribución de los equipos móviles.

Un incremento en el patrón de pérdida de bajada en la celda B sin necesidad de ajustar la antena, dará como resultado la curva B3. Esto producirá un efecto similar al del caso 3.

En el caso 2, la excesiva interferencia de subida de todas las celdas en la celda B debido a que la potencia piloto puede ser reducida por un atenuador en dicha celda, en el conector de la antena receptora de la señal de subida, por ejemplo, la desensibilización, el nivel de interferencia absoluta de la celda B incrementa; sin embargo, el aumento de ruido debido a la interferencia interceldas de subida es reducido. En el cambio, será reducida la cobertura de subida de la celda B, pero aumentará la capacidad de subida. Con esto se puede notar que la interferencia interceldas en la celda A incrementa después de adherir un atenuador de subida en la celda B.

### **2.2.3. Administración de la capacidad**

En los enlaces se dan los siguientes tipos de administración:

- Admisión en el enlace descendente: la reducción de los umbrales de la capacidad de bajada de los umbrales de la potencia máxima total de transmisión, reducirá el valor máximo permitido de la transmisión de bajada de una celda. Así, si esta reducción se aplica a una interferencia descendente, la máxima interferencia inducida posible por el canal de bajada será reducida. Es bueno señalar que ese cambio reducirá la capacidad de soportar la interferencia del enlace descendente. Por lo tanto, no es recomendable cambiar estos umbrales para resolver problemas de interferencia y estos deben ser usados solamente para dar solución a problemas de capacidad del área que se está analizando.
- Admisión en el enlace ascendente: reducir los umbrales de capacidad del enlace ascendente, reducirá el número de conexiones de usuarios en una celda. Pero la interferencia en el canal de subida y en el de bajada será reducida por su propia interferencia y la interferencia causada a otras celdas, si esta reducción en los umbrales es aplicada a una celda interferente. Por lo tanto, no es recomendable cambiar estos umbrales por problemas de interferencia y estos solo deben ser usados cuando se tenga problemas de capacidad.

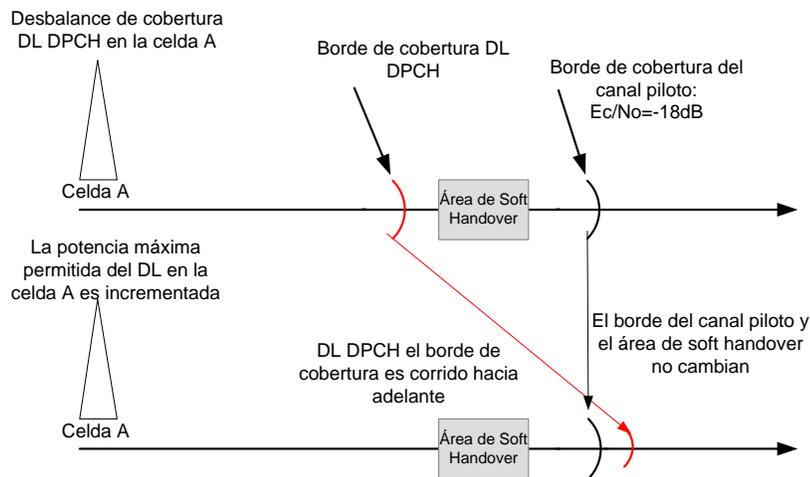
### **2.2.4. Control de potencia**

El problema de desbalance entre el canal descendente DPCH y la cobertura del piloto puede ser solucionado incrementando el valor máximo de potencia permitido en el canal descendente (ver la figura 19).

### 2.2.5. Handover

El problema de desbalance entre el canal descendente DPCH y la cobertura del piloto puede ser solucionado incrementando el valor máximo de potencia permitido en el canal descendente, como se aprecia en la figura 19.

Figura 19. Desbalance de cobertura



Fuente: elaboración propia.

Es importante notar que si la potencia del canal descendente ya se encuentra en umbrales muy elevados, el cambio podría generar congestión de caídas de servicio, debido al incremento del promedio de salida del amplificador de potencia de múltiples portadoras.

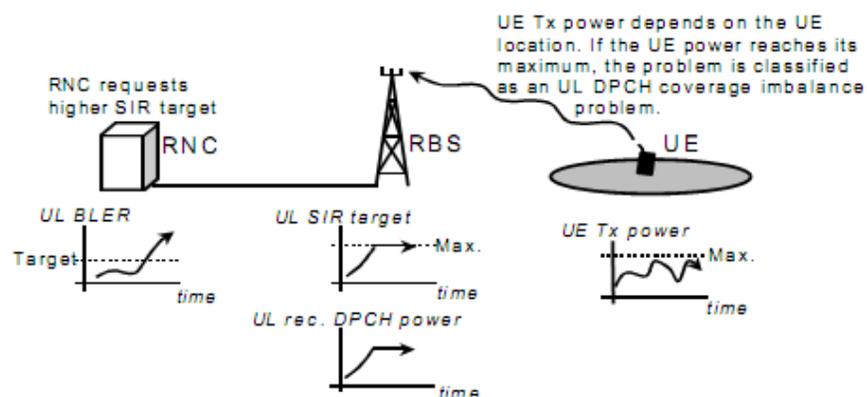
Los problemas de desbalance entre el canal ascendente CCH y la cobertura del canal piloto, pueden ser solucionados incrementando el nivel de potencia de los canales comunes CCH.

Los parámetros para fijar la potencia del canal común son dados a continuación:

- BCH, Potencia de BC
- SCH, Potencias primaria y secundaria de SC
- FACH, Potencia máxima de FAC
- PCH, Potencia de PC
- PICH, Potencia de PIC
- AICH, Potencia de AIC

En el caso de la potencia de recepción insuficiente en el canal de subida DPCH, la estación base no puede recibir suficiente potencia de subida en el canal físico dedicado, si el máximo valor permitido de subida es configurado en un valor muy bajo. Para poder permitir que los móviles transmitan a mayor potencia, se debe configurar este valor en un valor suficientemente alto.

Figura 20. Niveles de acceso



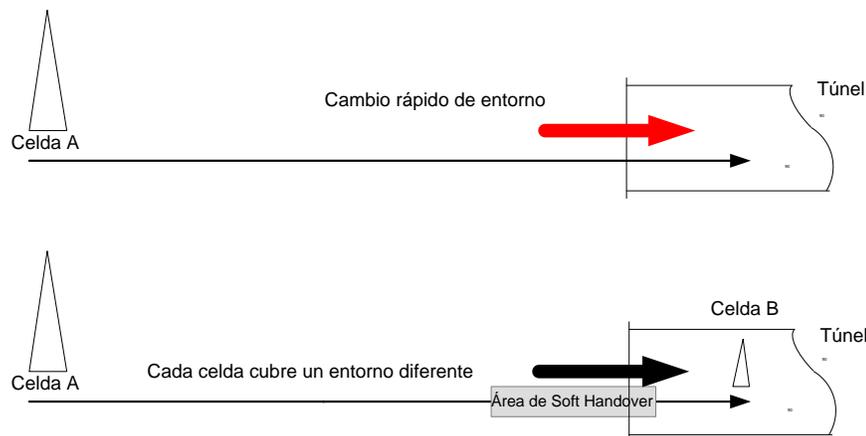
Fuente: CHEVALLIER Christopher. *WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Network planning and optimization consideration*. P.25.

### 2.3. Sitio nuevo

Un nuevo sitio con un buen control de cobertura es la mejor solución que se puede tomar para solucionar problemas de cobertura o capacidad. Los ingenieros de optimización y de diseño deben tener en cuenta que un buen control de la cobertura de un sitio es extremadamente importante en sistemas UMTS. La probabilidad de interferencia puede ser minimizada con un buen grado de solapamiento de la cobertura de los sitios. En contraste, un mal control de la cobertura, excesivo solapamiento.

Si la cobertura de una celda atraviesa diferentes entornos, por ejemplo: ambiente libre (*outdoor*), dentro de construcciones (*indoor*), túneles, etc., el ciclo de control de potencia no podrá adaptarse rápidamente a los cambios de entorno. En este caso es mejor dividir el área en varias celdas, las cuales pueden dar mejor respuesta a este cambio rápido de entornos.

Figura 21. Cambio de entorno



Fuente: elaboración propia.

### **3. LLAMADAS POR CAÍDAS DE CONEXIÓN**

#### **3.1. Definición de llamada caída**

Cuando una conexión de radio es terminada anormalmente, está conectada a un canal dedicado en UMTS por ejemplo, al DCH o al FACH, y es transferida a modo de espera, este evento es definido como caída de conexión.

Los sistemas de telefonía de los distintos proveedores almacenan un registro detallado de estos eventos para evaluar los, y así tener herramientas estadísticas para poder evaluar el rendimiento del sistema, ya sea de forma general, por sitio, por celda, etc.

#### **3.2. Canal dedicado**

Un canal dedicado es el que ha sido seleccionado específicamente para una acción determinada.

##### **3.2.1. Contadores de eventos por móvil**

Pueden existir algunos contadores mal configurados para registrar correctamente, las caídas de conexión. Para evitar un mal dato estadístico es importante tomar en cuenta la configuración de los contadores y asegurarse que: algunos sistemas liberan la conexión hasta que el móvil entró completamente a modo de espera. Es decir hasta que el contador que lleva el registro del tiempo de conexión, expira.

La acción anterior dará el tiempo suficiente para detectar la falla y tratar de restablecer la conexión. De lo contrario, problemas de llamadas caídas por interferencia u hoyos de cobertura a corto plazo pueden ocurrir.

La conexión no expirará debido al desvanecimiento a corto plazo. El sistema debe registrar estos eventos hasta que el móvil ha entrado en modo de espera.

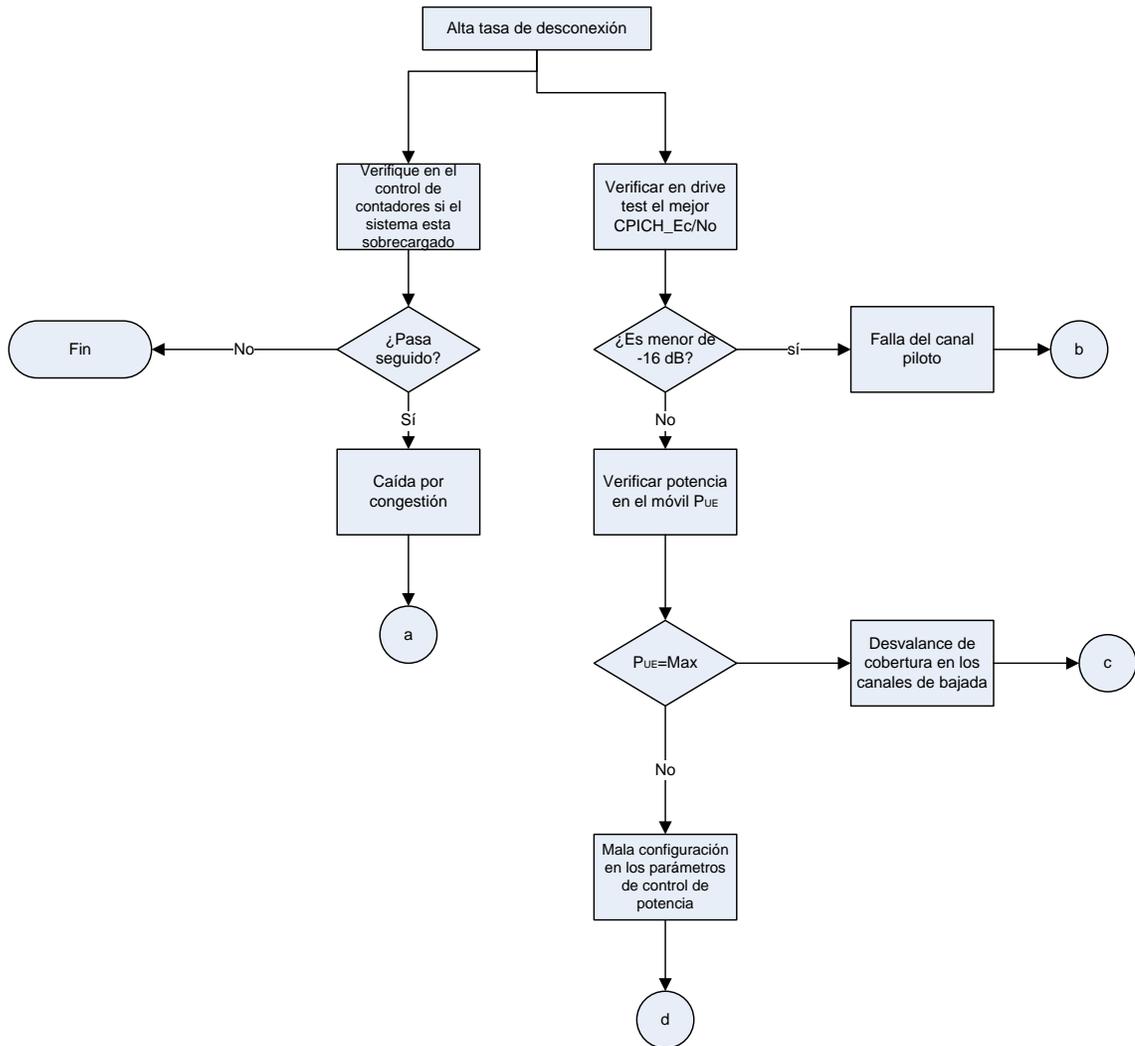
### **3.2.2. Escenarios de desconexión del canal dedicado**

Cuatro tipos de escenarios de desconexión de canal dedicado pueden ocurrir:

- Falla en el canal piloto: se incluye interferencia en el canal de bajada y hoyos de cobertura;
- Desbalance de cobertura en el canal de bajada;
- Mala configuración de parámetros de control de potencia;
- Caída por congestión.

Es posible distinguir estos cuatro escenarios en la figura 24.

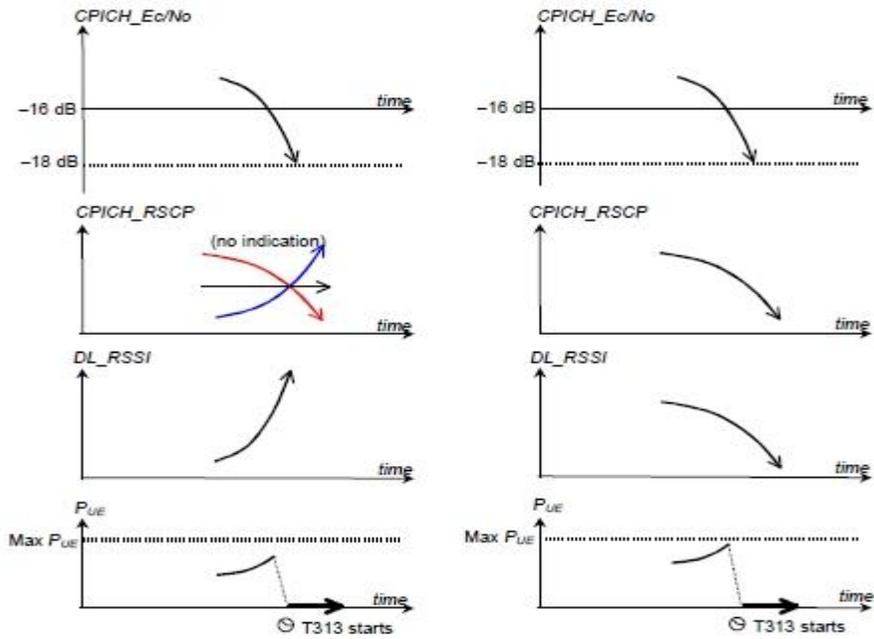
Figura 22. **Desconexión de canal dedicado**



Fuente: elaboración propia.

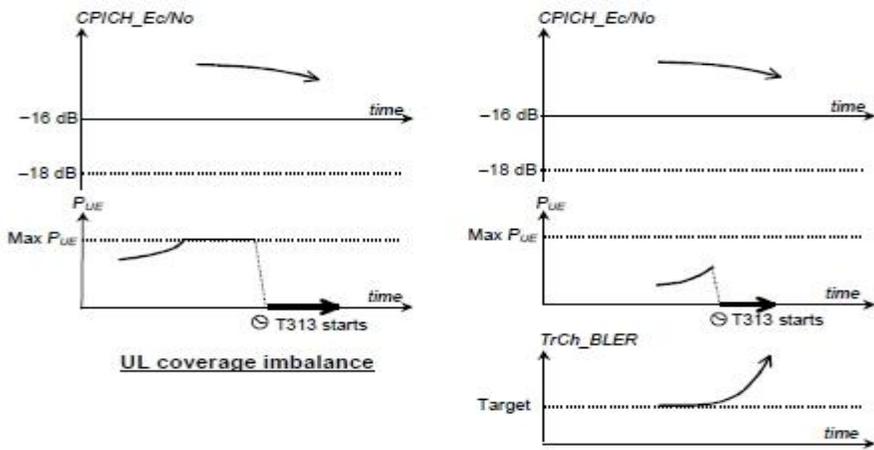
Se puede verificar algunos escenarios excepto las caídas de llamadas por congestión de la red, cuando se realiza un *drive test*. En la figura 22 pueden observarse las mediciones de señal que darán origen a diversos escenarios.

Figura 23. **Diferentes tipos de fallas de cobertura**



Falla del canal piloto por interferencia

Falla del canal piloto por hoyo de cobertura



UL coverage imbalance

Desbalance en el canal de bajada

Mala configuración en el control de potencia

Fuente: CHEVALLIER, Christopher. *WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Network planning and optimization consideration*. P.29.

La celda que es mejor servidor, mostrará las características siguientes: el CPICH\_Ec/No cae por debajo de los -16dB hacia los -18dB, la potencia en el canal de descarga DL\_RSSI incrementa simultáneamente. Esto indica que el móvil está recibiendo interferencia de otras celdas en el canal de recepción. PUE siempre está por debajo de la potencia de transmisión máxima permitida para un móvil.

La celda que es mejor servidor mostrará las siguientes características: el CPICH\_Ec/No cae por debajo de los -16dB hacia los -18dB, esto se puede observar cuando el móvil se está moviendo muy lejos de la celda que es el mejor servidor y de todas las fuentes posibles de interferencia.

El PUE se incrementa pero aún está por debajo de la potencia de transmisión máxima permitida por el móvil.

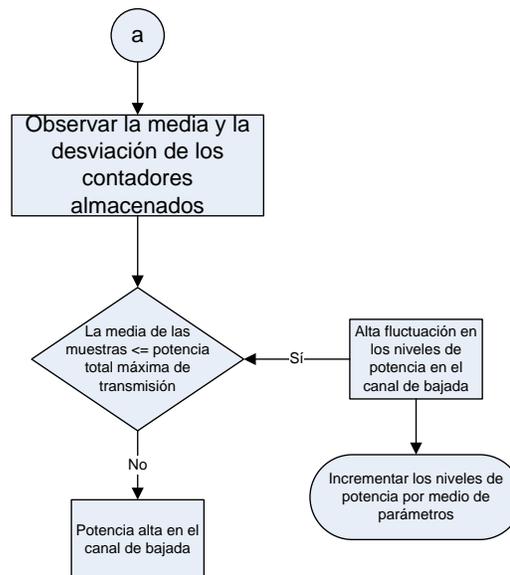
La celda que es mejor servidor mostrará las siguientes características: el CPICH\_Ec/No está por encima de los -16dB, y el PUE no llega al máximo valor de potencia permitida. Esto demuestra que se ha llegado a la frontera del canal físico.

La celda que es mejor servidor mostrará las siguientes características: el CPICH\_Ec/No está por encima de los -16dB, y el PUE no llega al valor de potencia máxima de transmisión permitida. El BLER aumenta por encima del valor permitido.

### 3.2.3. Diagrama de flujo para identificar caídas de llamada por congestión

El diagrama de flujo es para identificar los distintos escenarios de caídas de llamadas por congestión. En la figura 24 se muestran procedimientos para distinguir las diversas razones por las cuales se puede dar una caída de conexión.

Figura 24. Caída de conexión por congestión

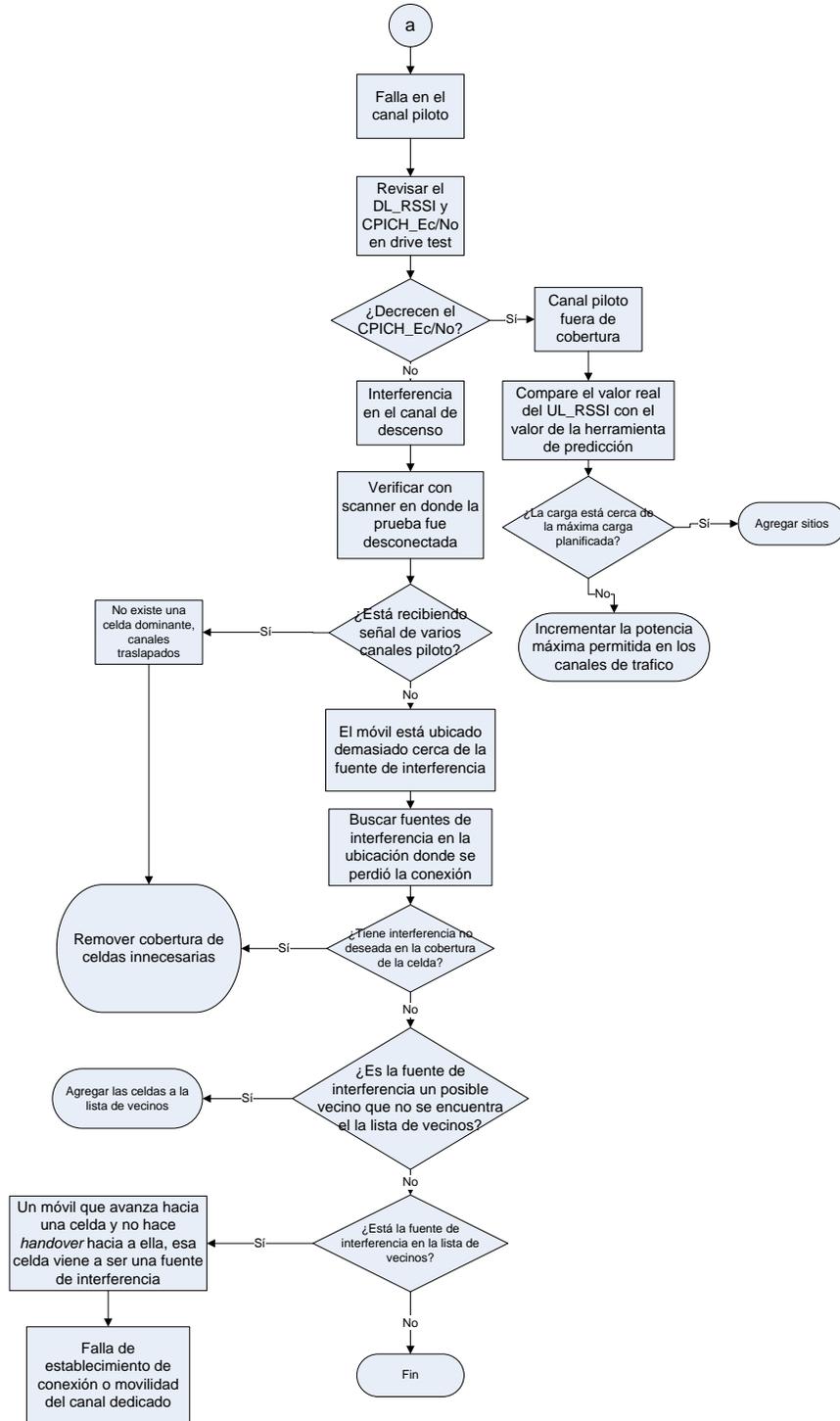


Fuente: elaboración propia.

### 3.3.4. Diagrama de flujo para la detección de fallas en el canal piloto

Se puede observar los distintos escenarios de fallas del canal piloto en la figura, en la cual se presentan formas de identificar fuentes de interferencia y las fallas del canal piloto.

Figura 25. Flujo para la detección de falla en el canal piloto

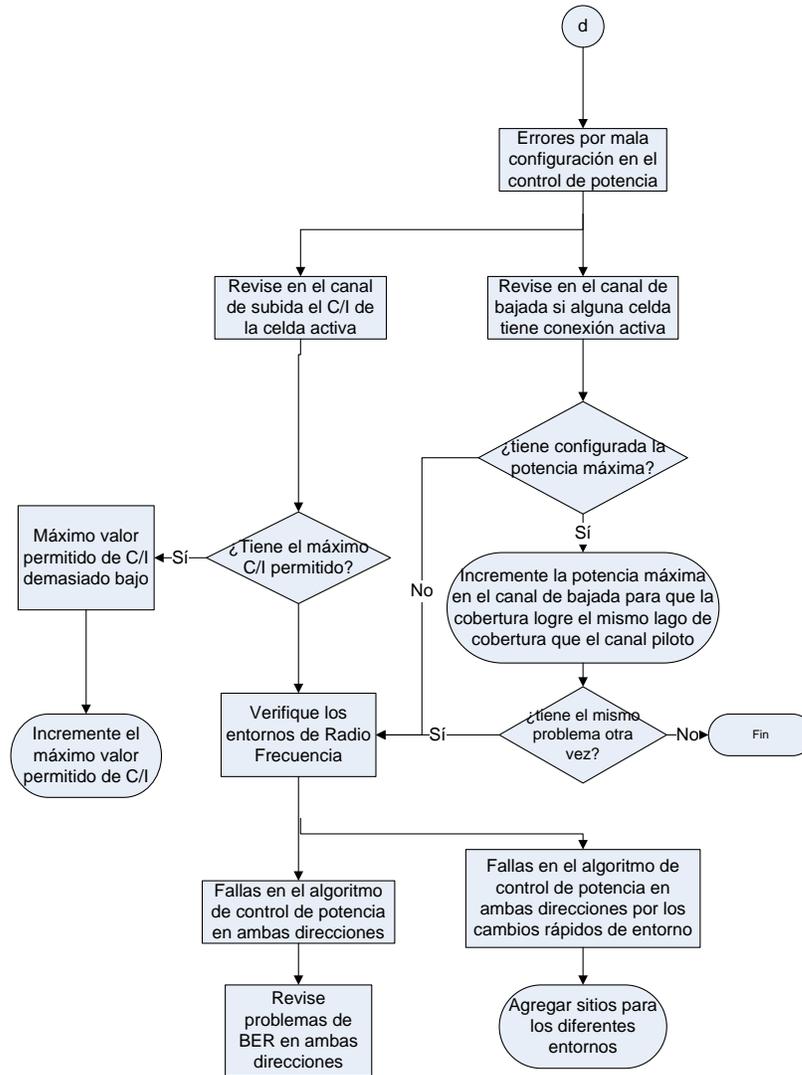


Fuente: elaboración propia.

Los procedimientos para distinguir las razones y las posibles soluciones debido a errores al configurar el control de potencia, son provistos en la figura 26. Los posibles escenarios pueden ser:

- La potencia transmitida en el móvil es limitada debido al bajo valor configurado por el parámetro de máxima potencia permitida de subida.
- El DHCP y el canal piloto tienen desbalance en la cobertura.
- El ciclo en algoritmo del control de potencia no funciona adecuadamente, debido a la mala calidad en el canal de subida.
- El ciclo en el algoritmo de control de potencia no funciona adecuadamente, debido a los cambios rápidos de entorno.

Figura 26. Corrección de errores en el control de potencia



Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Canal común

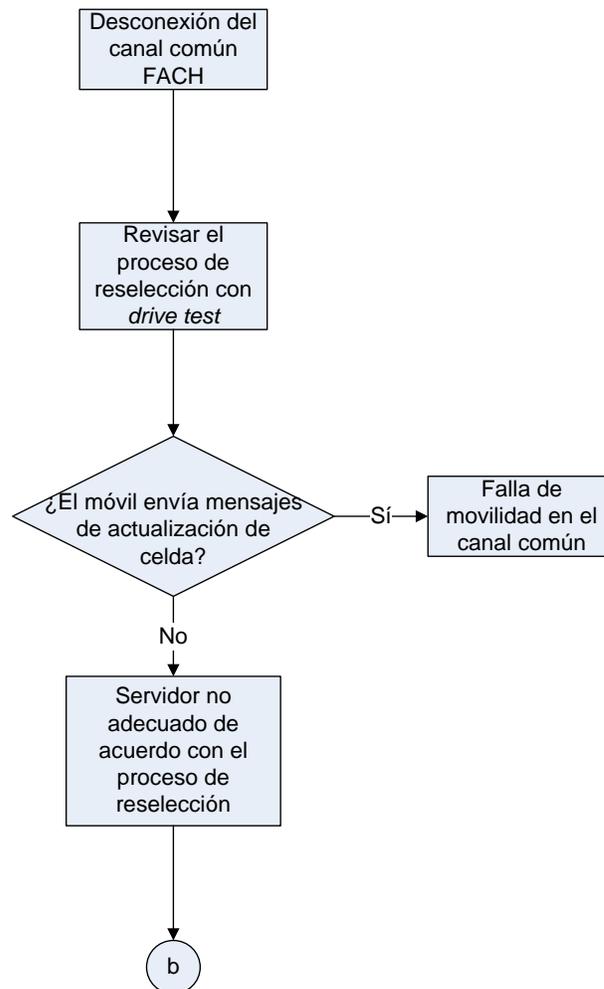
Difunde información del sistema, así como información específica de la celda.

### 3.3.1. Escenarios de desconexión de los canales comunes

Dos escenarios son posibles para la desconexión del canal común y son los siguientes:

- No estar en servicio de la celda adecuada
- Fallas de movilidad en los canales comunes

Figura 27. **Desconexión de canales comunes**

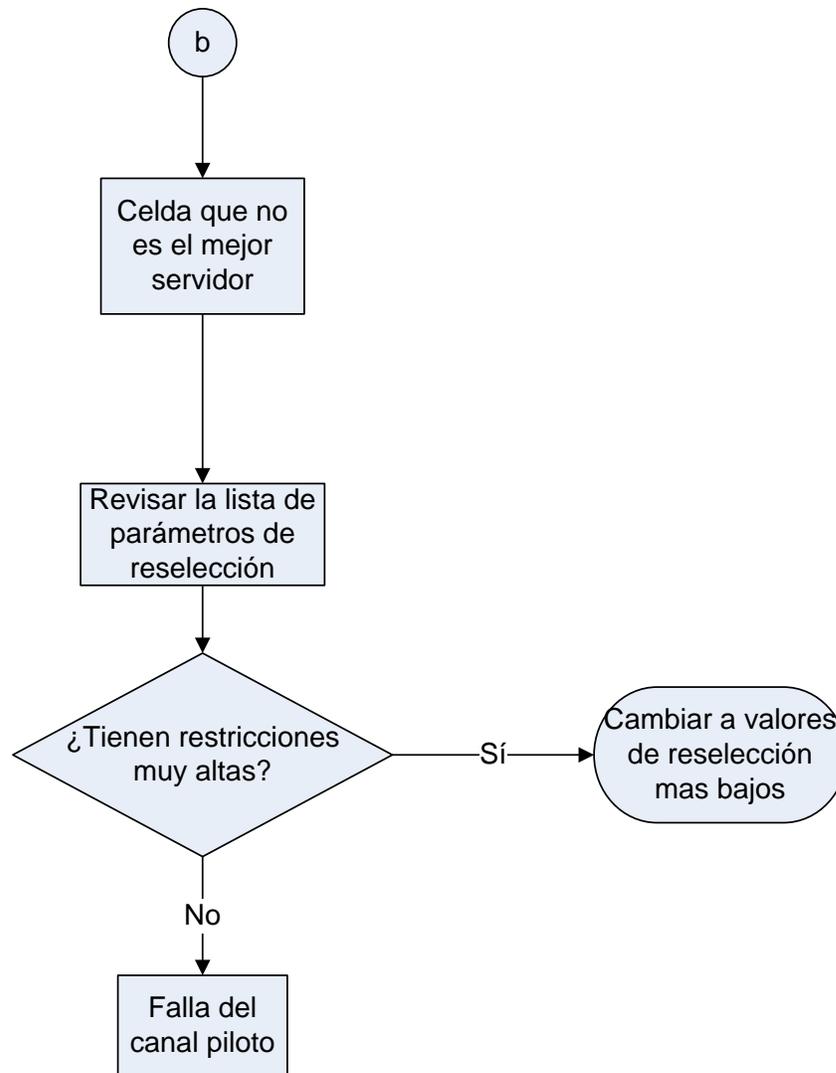


Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2. Celda servidora incorrecta

En la figura 28 se observa el diagrama de flujo para tratar de identificar y resolver los problemas, debido a la falta de un mejor servidor en la zona. Esto provee soluciones y procedimientos para identificar los diferentes motivos de esto.

Figura 28. Flujo para encontrar una servidora incorrecta



Fuente: elaboración propia.



## 4. FALLAS EN FUNCIONES DE MOVILIDAD

### 4.1. Definición

Existen dos funciones de movilidad para los dos diferentes modos de conexión, DCH y FACH. Estos son la función de transferencia y la función de reelección de celda.

La función de *handover* provee la habilidad de adherir o borrar radio enlace con la misma frecuencia, con el fin de prever macrodiversidad a los usuarios finales mientras están conectados en los canales dedicados.

La función de actualización de celda del lado de la red y de los recursos que utiliza, sirve para mantener actualizada la posición del móvil mientras está conectado en canales comunes.

Otras funciones adicionales en el móvil son necesarias para asistir las dos funciones antes mencionadas:

- Detección de *handover*
- Reelección de celda
- Movilidad en el canal dedicado
- Falla en el evento de detección de *handover* (función en el móvil)
- Falla en la función de *handover* (función del lado de la red)
- Movilidad en el canal común
- Falla en reelección de celda (función del lado del móvil)
- Falla en la función de actualización de celda (función del lado de la red)

## **4.2. Fallas de detección de eventos de *handover***

La definición de fallas de detección de evento de *handover*, es cuando del lado de la red deja de percibir los datos de medición del móvil, porque este entra a un área con mala cobertura.

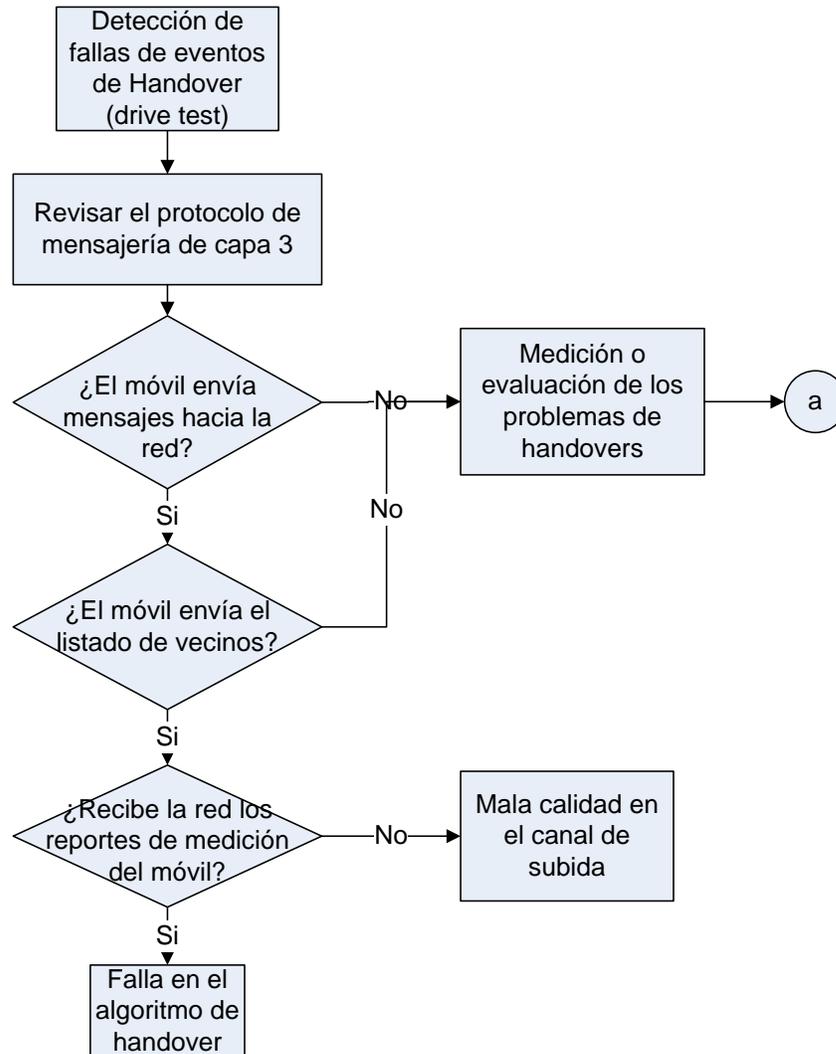
### **4.2.1. Escenarios de fallas de *handover***

Existen tres escenarios de detección de *handover*, estos son:

- Problemas de medición o evaluación de la adición a un enlace de *handover*.
- Problemas de medición o evaluación de remover un enlace de *handover*.
- Mala calidad de señal en el enlace de *handover*.

Cada escenario se distingue por el control de los mensajes recibidos tanto del móvil como de la red.

Figura 29. **Fallas de eventos de *handover***



Fuente: elaboración propia.

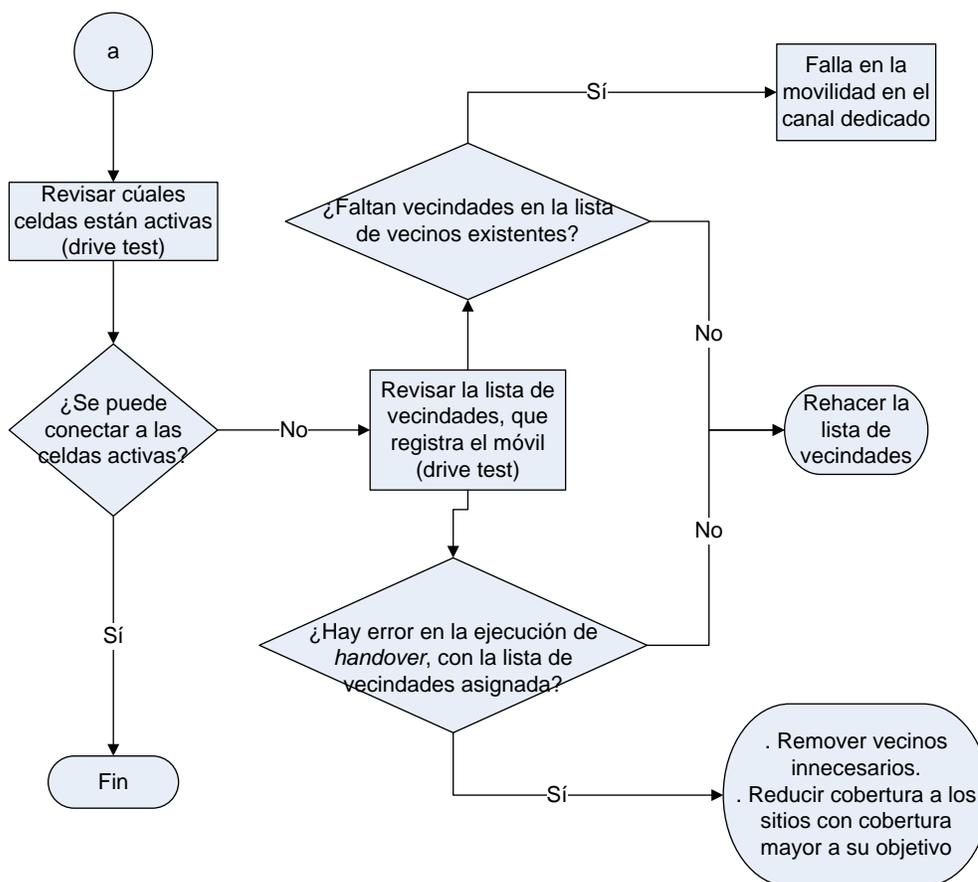
#### 4.2.2. Adición de vecindades

Se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 33, las mediciones o evaluaciones para problemas en la ejecución de *handover*.

En el diagrama se puede observar soluciones y procedimientos para distinguir la razón del problema, ya sea por error de medición o error en la evaluación.

El procedimiento utiliza el listado de las mejores mediciones hechas por el móvil.

Figura 30. Diagrama de edición de vecindades

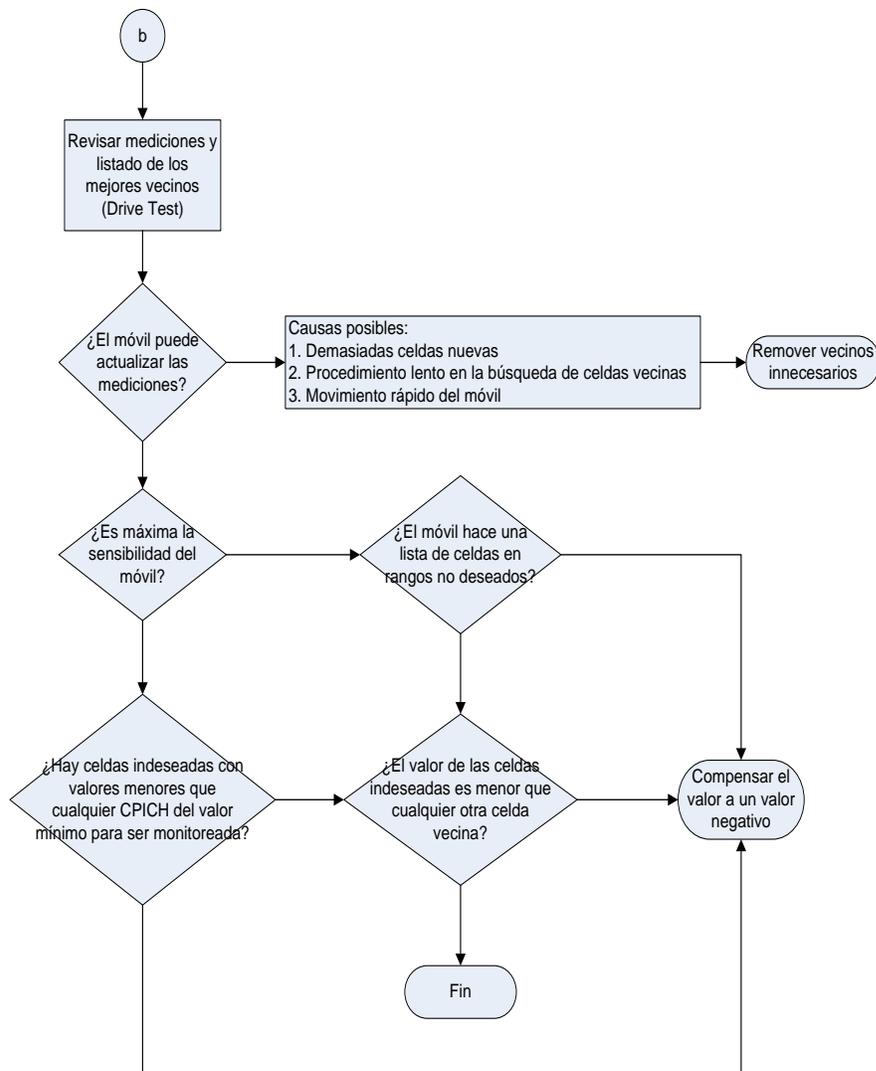


Fuente: elaboración propia.

### 4.2.3. Remoción de una vecindad

Pueden proveerse procedimientos para distinguir cuándo una vecindad fue eliminada innecesariamente. Para realizar el análisis se utilizan las mediciones del móvil, y la lista de las mejores vecindades vistas por el móvil.

Figura 31. Diagrama de remoción de vecindad



Fuente: elaboración propia.

### **4.3. Falla en el algoritmo de *handover***

La definición de falla en el algoritmo de *handover* es la siguiente: cuando la red ha recibido el reporte de las mediciones que percibe el móvil, estando en conexión de canal dedicado, al requerir la adición o remoción de un enlace de radio de una celda vecina y sin embargo, el requerimiento no es completado.

#### **4.3.1. Escenarios de fallas en el algoritmo de *handover***

Existen cinco diferentes escenarios de fallas de *handover*:

- Problema de asignación de recursos por parte de la red
- Mala calidad en el enlace de radio de bajada
- Mala asignación de recursos del lado del móvil
- Mala calidad en el enlace de radio de subida
- Problemas de sincronización

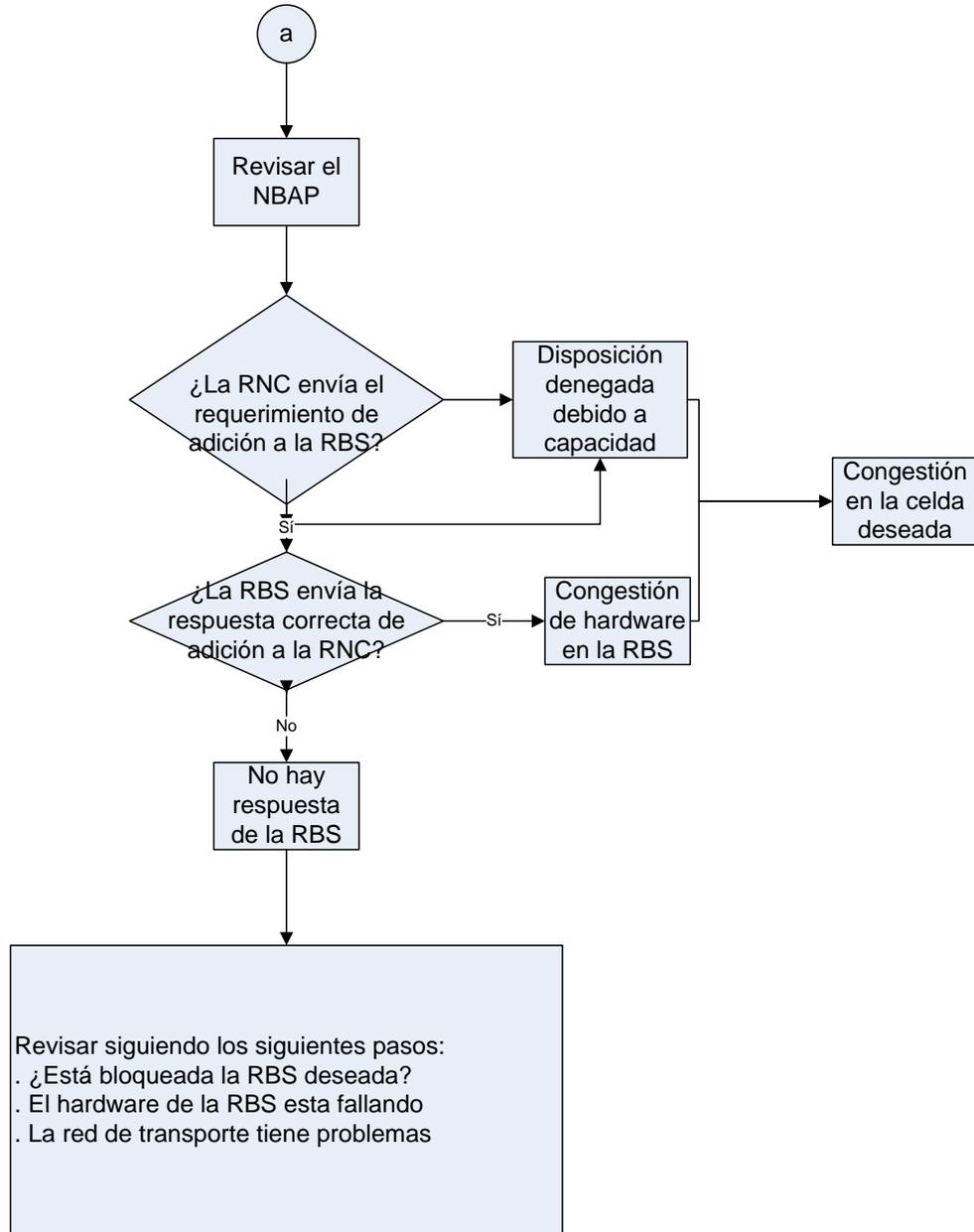
Cada caso se distingue por los mensajes manejados en la capa 3 del modelo OSI.

#### **4.3.2. Problemas en la asignación de recursos**

Se puede observar en la figura 32 la fuente de los problemas del lado de la red; en el diagrama de flujo se proveen soluciones y procedimientos, y se puede observar los siguientes dos problemas:

- Bloqueo de celda
- No responde la radio base

Figura 32. Problemas en asignación de recursos

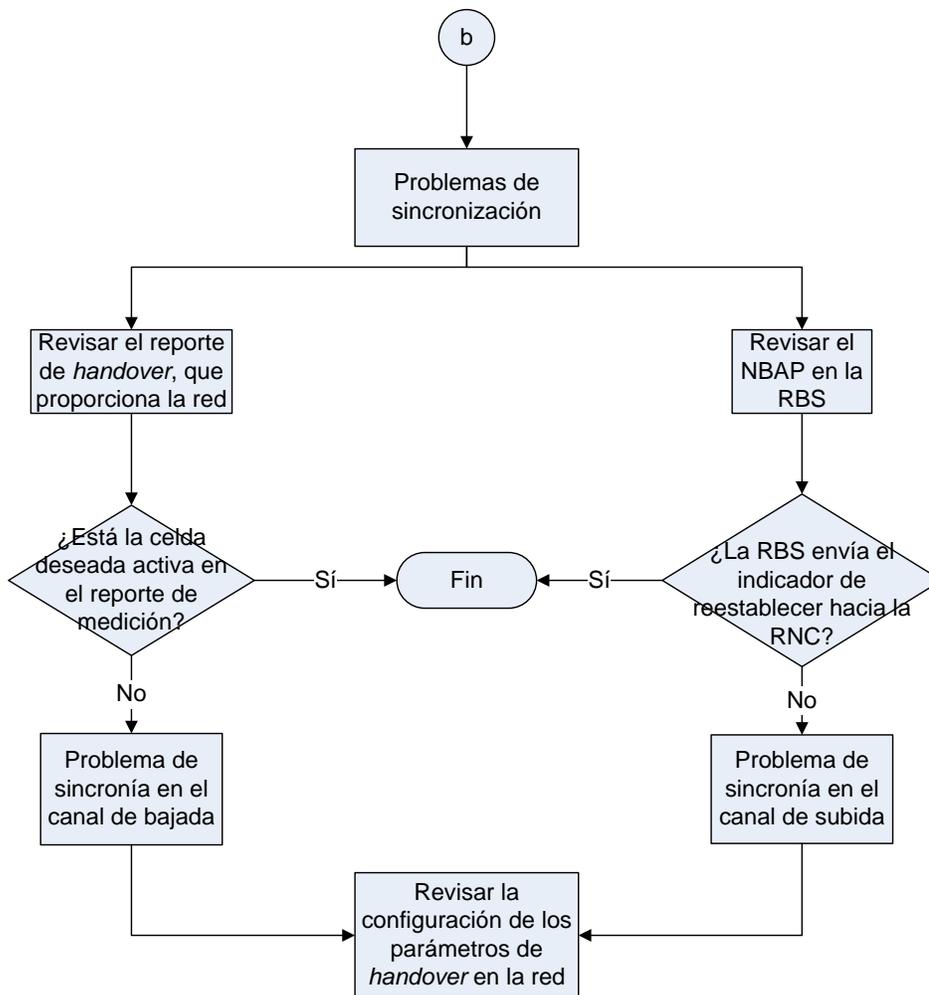


Fuente: elaboración propia.

### 4.3.3. Fallas de sincronía en la ejecución de *handover*

Los problemas de sincronización en los enlaces de subida y bajada son vistos en la figura 33. También se proveen procedimientos y soluciones.

Figura 33. Fallas de sincronía en ejecución de *handover*



Fuente: elaboración propia.

#### **4.4. Falla en reelección de celda**

En una red de telefonía celular TDMA o CDMA que incluye múltiples áreas de registro y en situaciones de la reelección de la celda de la estación móvil entre una celda ubicada en una primera área de registro y una celda ubicada en una segunda área de registro, la estación móvil procesa las mediciones de intensidad de señal de canal piloto o de control teniendo en cuenta tanto una histéresis de reelección convencional como una histéresis de registro adicional.

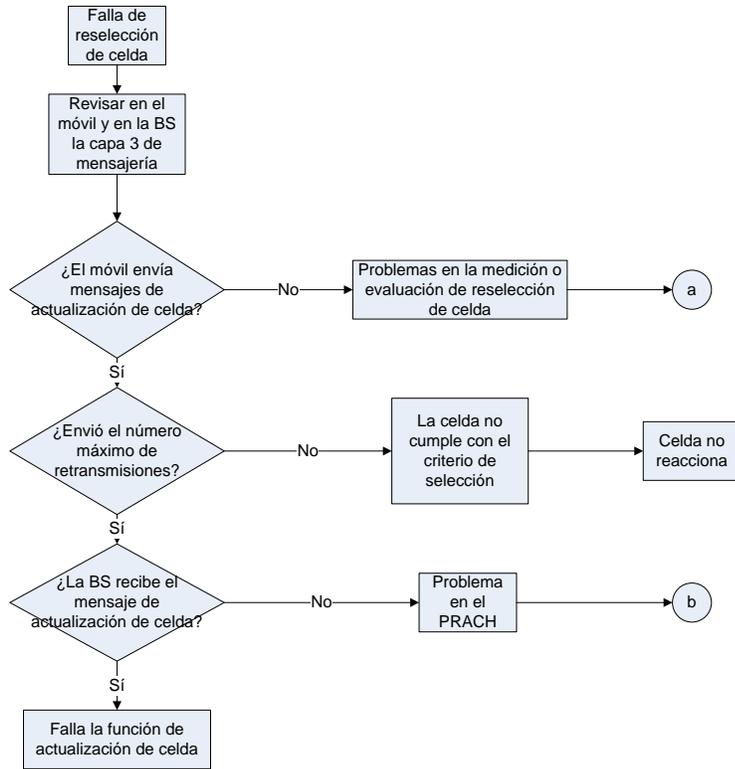
##### **4.4.1. Escenarios de falla en reelección de celda**

Estos son los tres posibles escenarios de fallas de reelección:

- Mediciones de reelección de celda
- Celda no adecuada
- Problemas en el canal físico de acceso aleatorio (PRACH)

Cada escenario se distingue por la distinta mensajera de capa 3 recibida del lado de la red, como se puede observar en la figura 37.

Figura 34. Escenarios de reelección

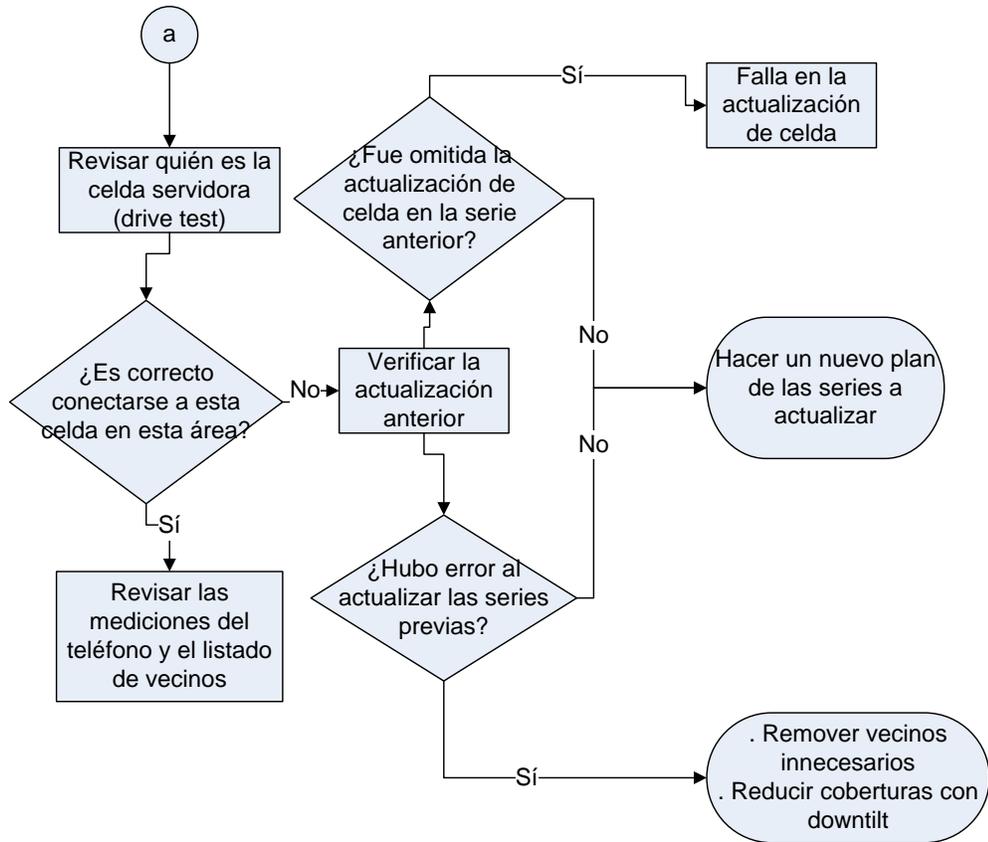


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. Evaluación de problemas de reelección

En la figura 35 se puede observar el flujo de trabajo para identificar los problemas de medición o evaluación en una reelección de celda. Además provee procedimientos para identificar el listado de mejores vecinos con las mediciones tomadas por el móvil. El problema puede ser por una mala medición o una falla en la evaluación de la medición.

Figura 35. Evaluación de problemas de reelección

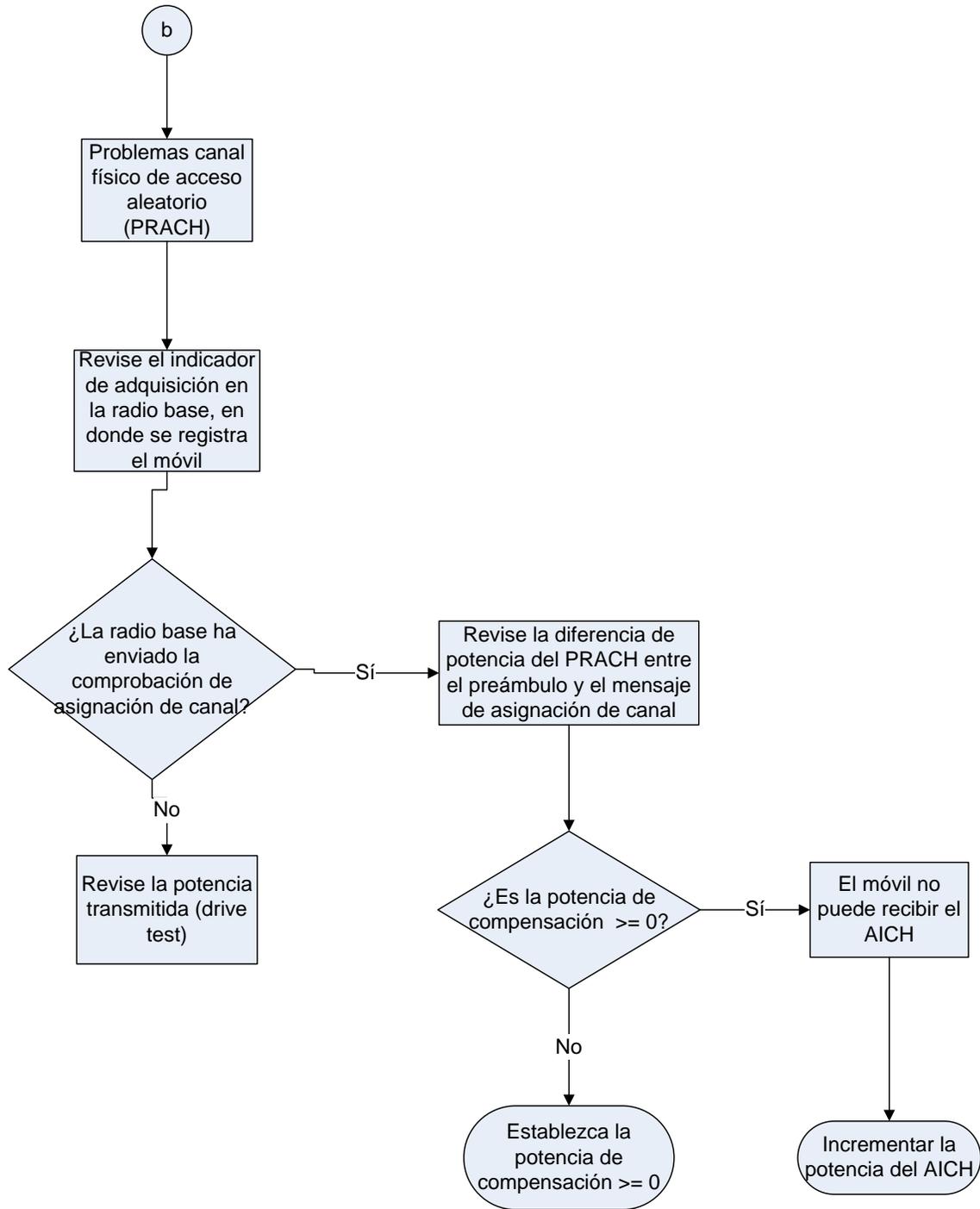


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.3. Fallas en el canal físico aleatorio PRACH

En el diagrama de flujo de la figura 36 se puede observar algunos problemas en el canal físico de acceso aleatorio (PRACH). En el cual se proveen procedimientos para solucionar algunos de los problemas, monitoreando del lado de la red los mensajes de capa 3 enviados por el móvil, y la potencia de los mismos. Las posibles razones pueden ser un alto RSSI en el canal de subida o una mala configuración en la potencia del PRACH.

Figura 36. **Fallas en el canal físico**



Fuente: elaboración propia.

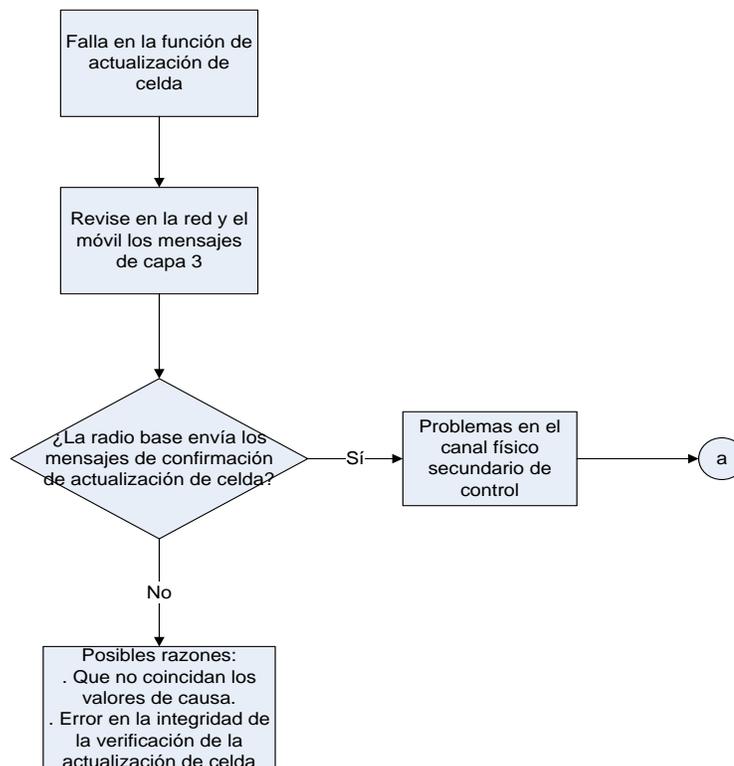
## 4.5. Falla en actualización de celda

Para considerar como falla en la función de actualización de celda, se debe tomar en cuenta que la red ha recibido la solicitud del móvil para actualizar la celda pero este no recibe el mensaje de confirmación de actualización.

### 4.5.1. Escenarios de falla en actualización de celda

El escenario más común en fallas de actualización de celda son los problemas en el canal físico secundario de control. Se puede distinguir este problema monitoreando los mensajes de capa 3, tanto en el móvil como en la red.

Figura 37. Escenarios de fallas en actualización de celda

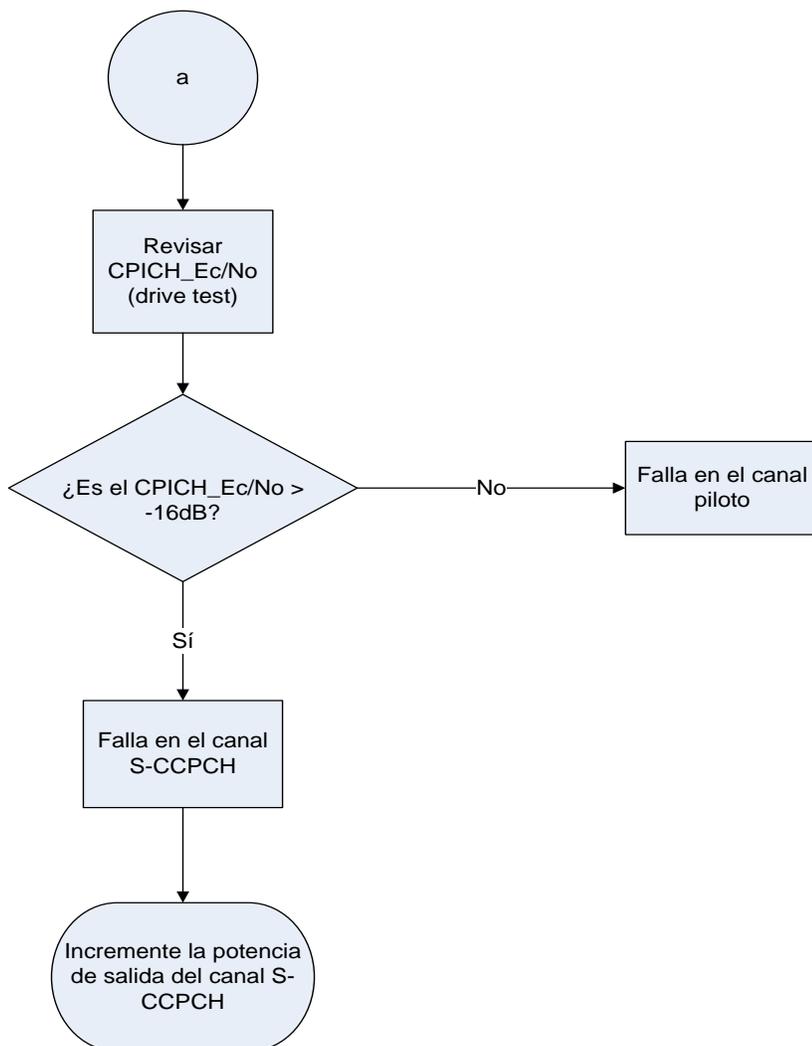


Fuente: elaboración propia.

#### 4.5.2. Problemas en el canal secundario de control o en la portadora

En la figura 38 se puede observar cómo identificar problemas en el canal secundario de control y problemas de portadora, además provee procedimientos para solucionar dichos problemas.

Figura 38. **Detección de problemas en el canal secundario**



Fuente: elaboración propia.

## 5. BLOQUEO DE CELDA

### 5.1. Escenarios de bloqueo de celda

La definición de bloqueo de celda es cuando una nueva conexión de radio dedicada o acceso a la portadora es denegada debido a:

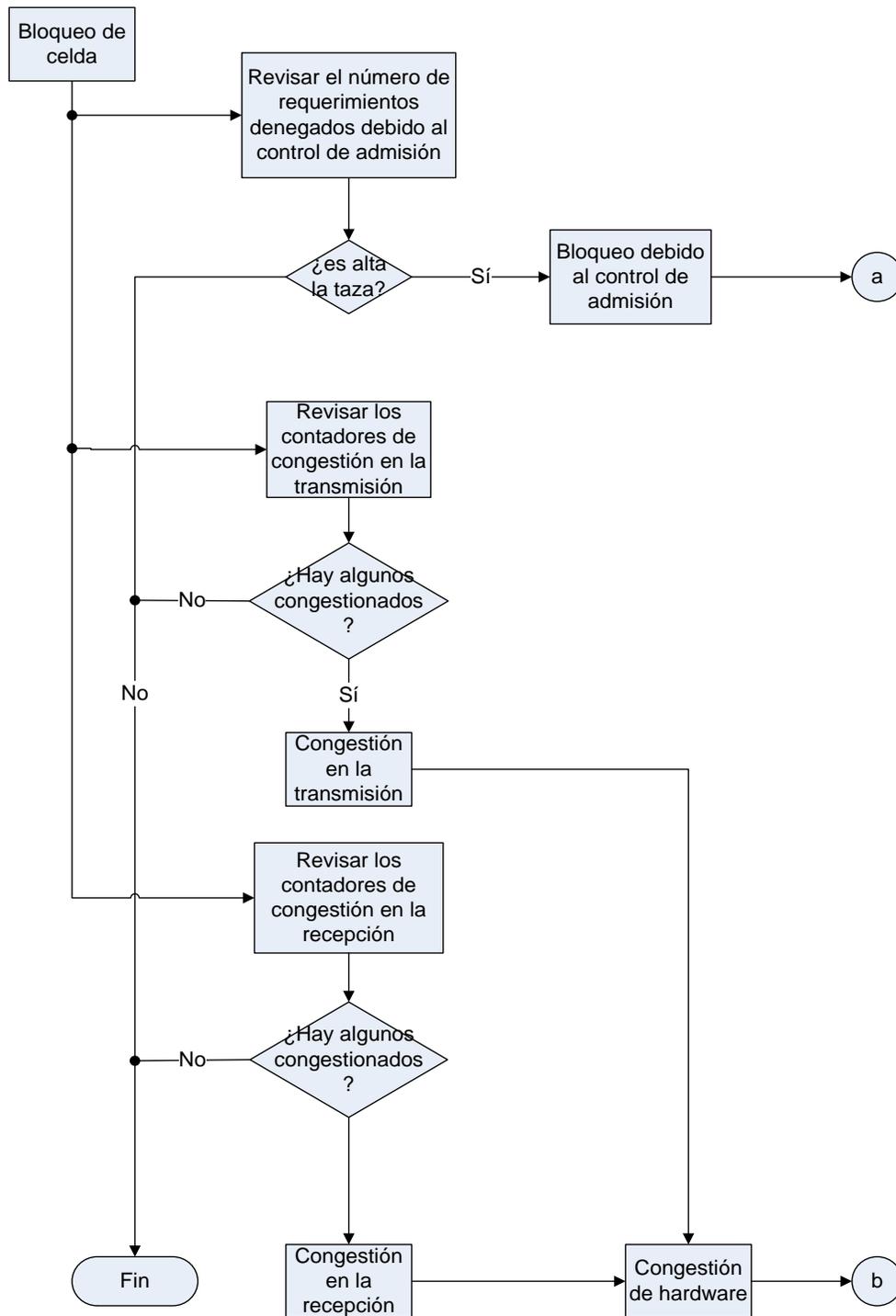
- Capacidad de gestión
- Bajos recursos de hardware

Estos son los dos escenarios de bloqueo de celda:

- Bloqueo debido al control de admisión
- Congestión de hardware

Cada escenario se distingue por el monitoreo de los contadores de eventos para el *hardware*, y en caso de negación de admisión las estadísticas de rendimiento.

Figura 39. Escenarios de bloqueo de celda



Fuente: elaboración propia.

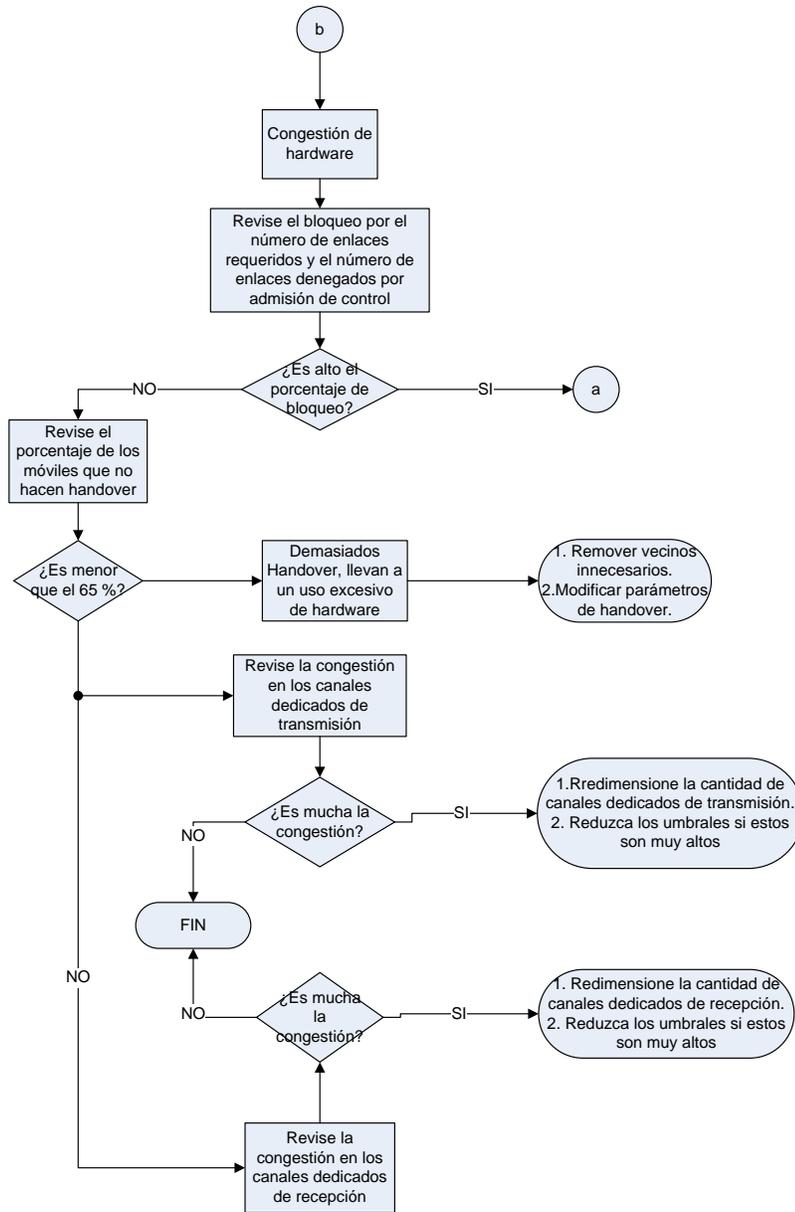
## **5.2. Bloqueo de celda**

El bloqueo de una celda puede causar congestión en el hardware.

### **5.2.1. Congestión por hardware**

En el siguiente diagrama de flujo se muestran soluciones y procedimientos para problemas de congestión de *hardware*, monitoreando principalmente las relaciones de *handover*, utilizando los bordes de transmisión de radio frecuencia.

Figura 40. Congestión por hardware

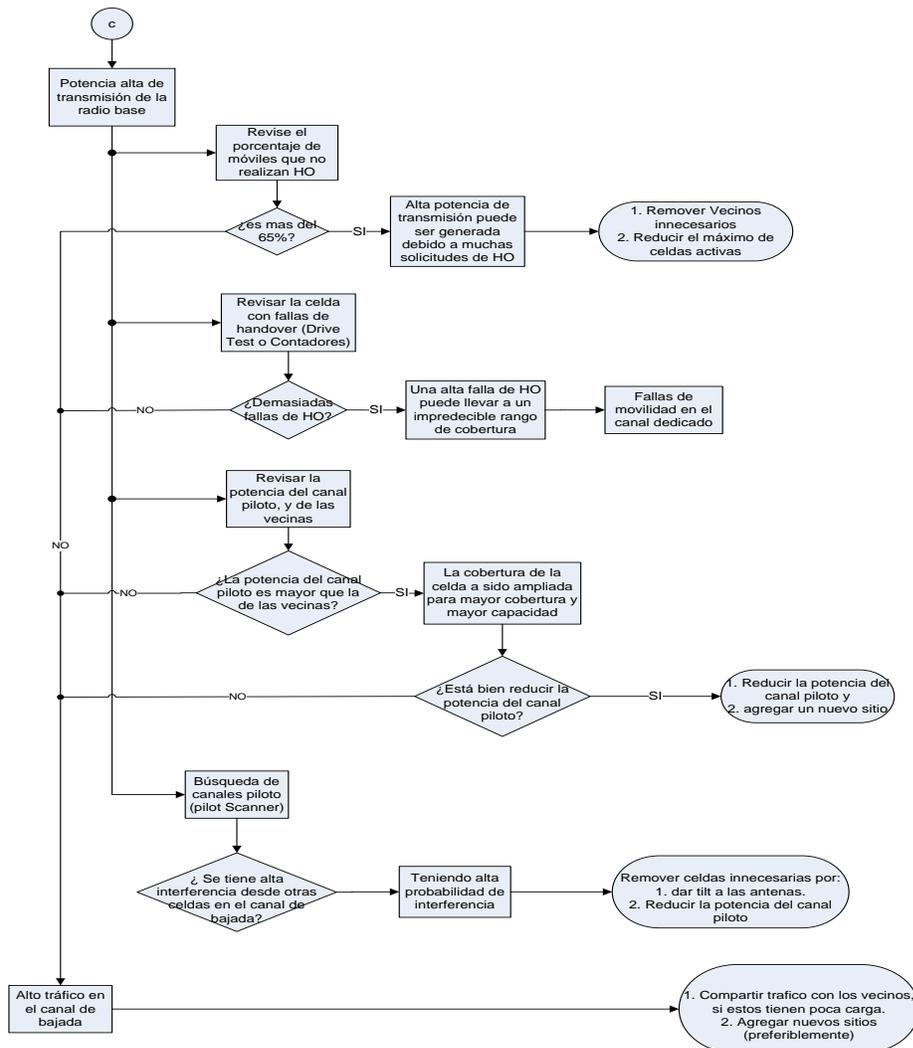


Fuente: elaboración propia.

### 5.2.2. Potencia alta en el canal de transmisión de la radio base

En la figura 41 se describen soluciones y procedimientos para problemas por potencia alta; en el canal de bajada de la radio base, utilizando principalmente el monitoreo de sucesos de *handover*, midiendo el porcentaje de éxito de los mismos.

Figura 41. Potencia alta en el canal de transmisión



Fuente: elaboración propia.

Las fallas de los *handover* pueden ser debido a: demasiados móviles en proceso de *handover*, porcentaje alto en fallas de movilidad, potencia alta en el canal piloto e interferencia alto en el canal de bajada.

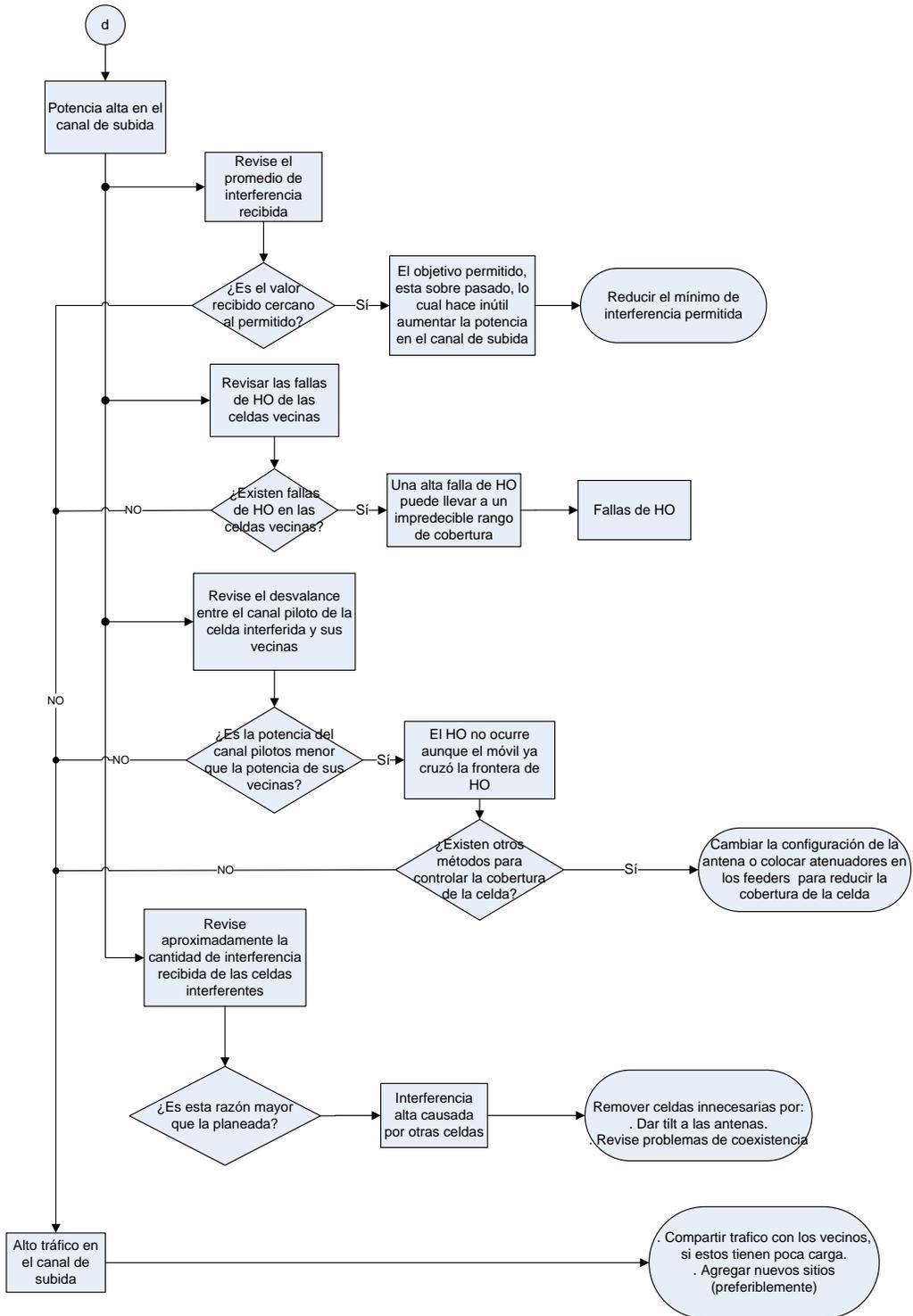
Desde el punto de vista del sistema, un incremento de *handovers* en el sistema, causará un incremento de interferencia y llamadas caídas. Para superar esta situación y mantener una interrupción planeada, un incremento en la potencia del canal de bajada no será necesario.

### **5.2.3. Alta potencia recibida en el canal de subida**

En la siguiente figura se describen soluciones y procedimientos para problemas por potencia alta en el canal de subida; esto se hará monitoreando el comportamiento de los sucesos de *handover*, midiendo el porcentaje de éxito de los mismos; las fallas de estos pueden ser debido a:

- El promedio de interferencia recibida es muy cercano al mínimo permitido
- Porcentaje alto en fallas de movilidad
- Potencia alta en el canal piloto
- Interferencia alta en el canal de subida

Figura 42. Potencia alta en el canal se subida



Fuente: elaboración propia.



## **6. FALLA DE ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN**

### **6.1. Falla de establecimiento de conexión**

Un establecimiento exitoso de llamada contiene:

- Un establecimiento exitoso de conexión, con la fuente de control de radio frecuencia.
- Establecimiento exitoso, con el canal de señalización.
- Establecimiento exitoso, con la portadora.

### **6.2. Fallas de establecimiento con la fuente de control de radio frecuencia**

La definición de falla de establecimiento con la fuente de control de radio frecuencia (RRC), es cuando la RRC no recibe la solicitud completa de conexión por parte del móvil. Después de que el móvil envía el mensaje de solicitud de conexión hacia la RRC.

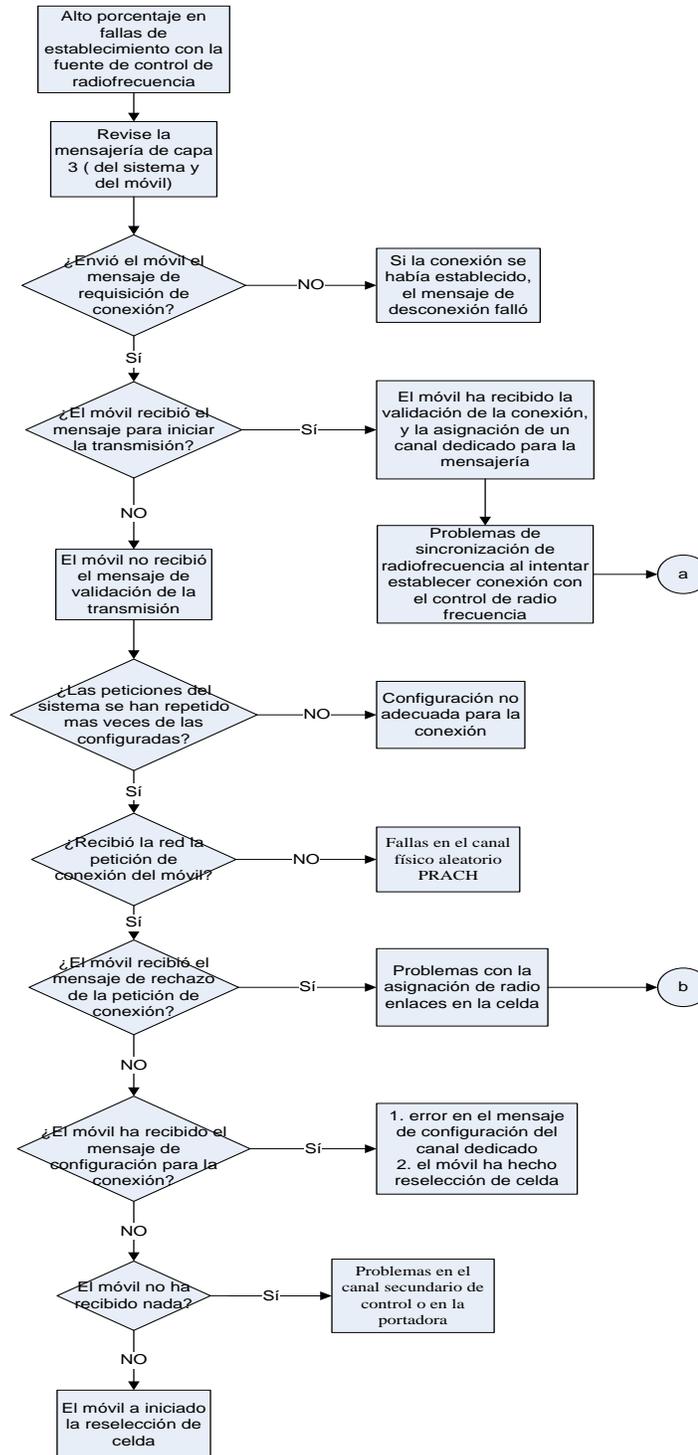
#### **6.2.1. Escenarios de fallas de establecimiento**

Existen 5 escenarios de fallas de conexión con la RRC:

- Problemas de establecimiento de radiofrecuencia por fallas de sincronización.
- Celda servidora incorrecta, ver la figura 30.

- Fallas en el canal físico aleatorio PRACH, vea la figura 38.
- Problemas de configuración de radio enlace
- Problemas en el canal secundario de control o en la portadora (ver la figura 3). Cada uno de los escenarios descritos puede distinguirse monitoreando los mensajes de capa 3, tanto del móvil como del lado de la red.

Figura 43. Fallas en el control de radio frecuencia



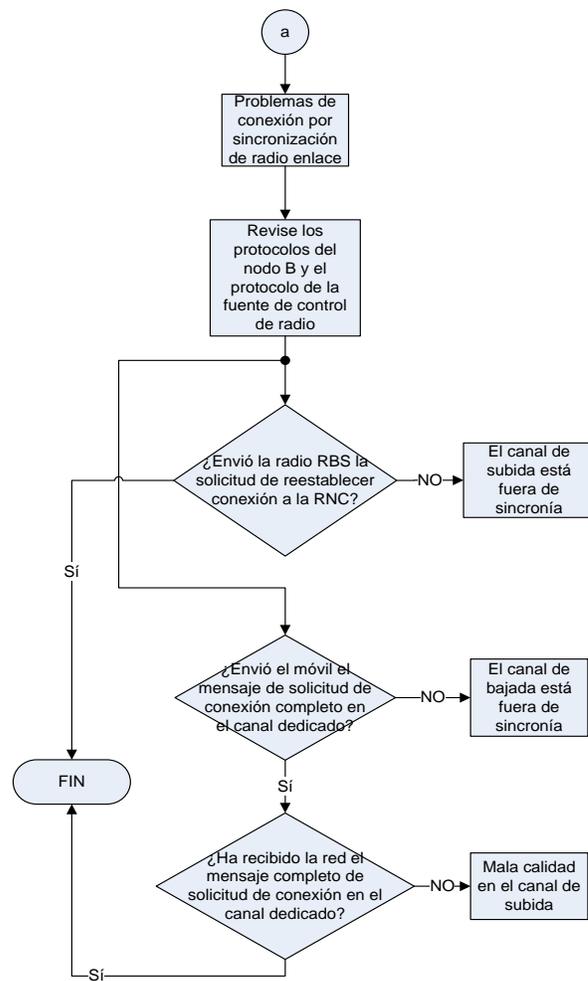
Fuente: elaboración propia.

### 6.2.2. Problemas de conexión por sincronía de radio enlace

Problemas de sincronía en el enlace de radio, en el establecimiento de una conexión, este escenario se puede dividir en 3:

- Canal de subida fuera de sincronía al intentar establecer un enlace
- Canal de bajada fuera de sincronía al intentar establecer un enlace
- Mala calidad en el canal de subida

Figura 44. Problemas de conexión de sincronía de radio enlace



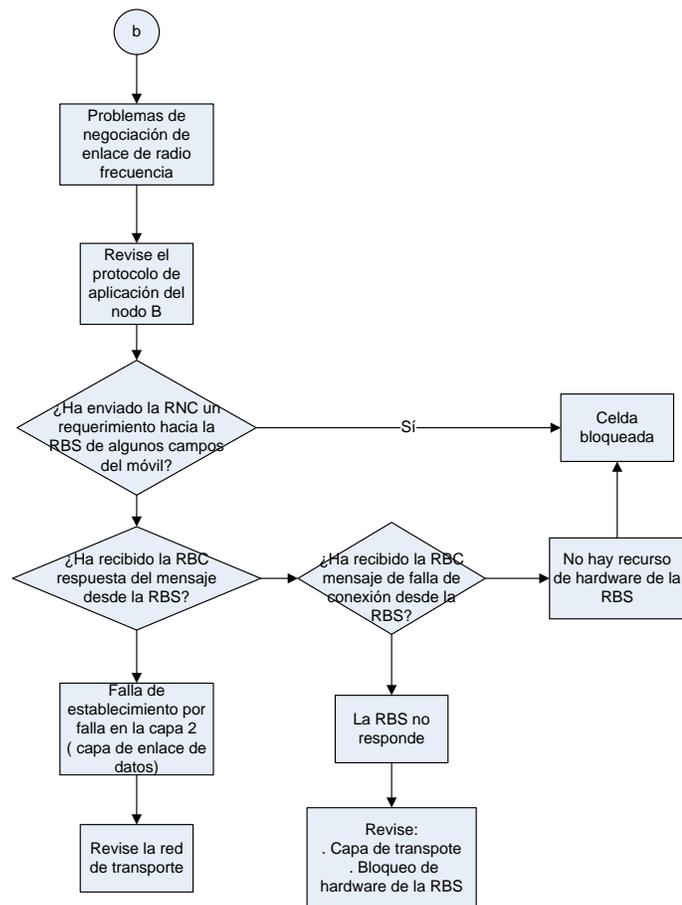
Fuente: elaboración propia.

### 6.2.3. Fallas en la negociación de enlace de radio frecuencia

En la figura 44 se proveen soluciones y procedimientos, para problemas de establecimiento de enlace de radio frecuencia, y se realiza monitoreando el protocolo del nodo B y se pueden dar los siguientes problemas:

- Bloqueo de celda
- La RBS no responde
- Falla de establecimiento por problemas de capa 2

Figura 45. Fallas en la negociación de enlace



Fuente: elaboración propia.

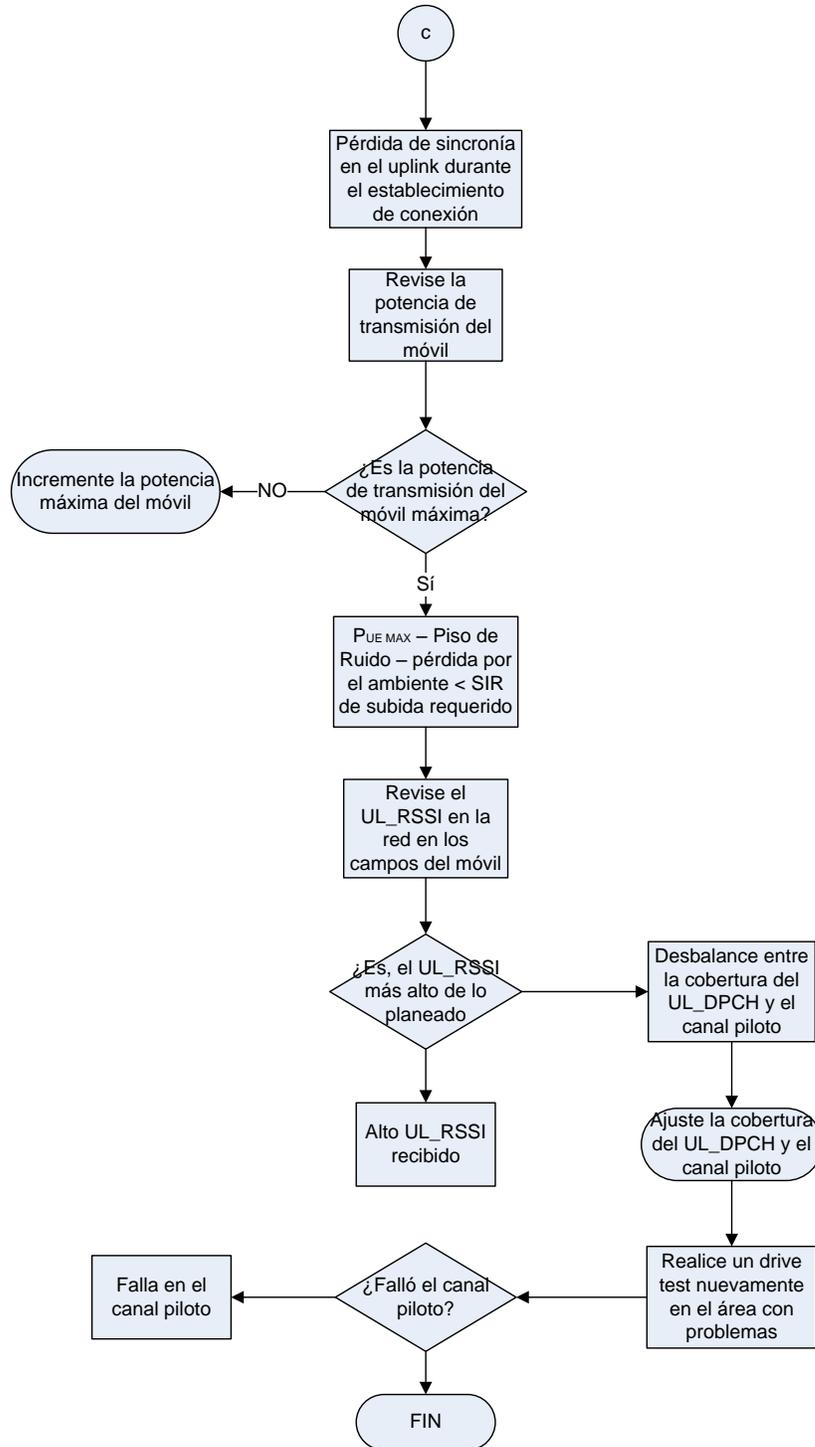
#### **6.2.4. Pérdida de sincronía en el canal de subida durante el establecimiento de conexión**

La siguiente figura muestra soluciones y procedimientos para la solución de problemas debido a pérdida de sincronía, durante el establecimiento de conexión.

Los métodos son el monitoreo de la potencia de transmisión del móvil, mediante drive test y el UL\_RSSI en la red:

- Configuración errónea de potencia en el canal de subida durante el establecimiento de un canal dedicado.
- Potencia alta en el canal de subida (UL\_RSSI)
- Desbalance de cobertura en el canal de subida
- Falla del canal piloto

Figura 46. Pérdida de sincronía en el canal de sincronía



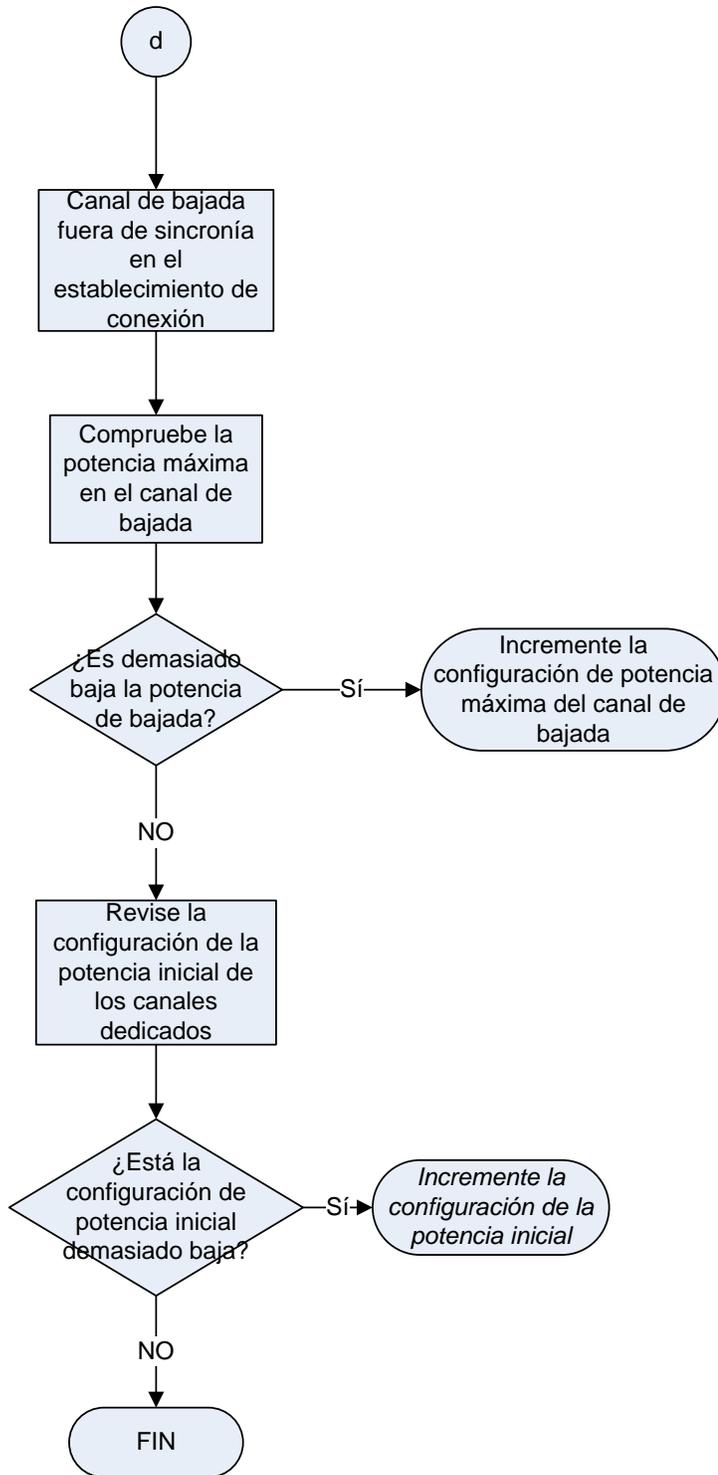
Fuente: elaboración propia.

### **6.2.5. Pérdida de sincronía en el canal de bajada durante el establecimiento de conexión**

En la figura 50 se describen soluciones y procedimientos para los problemas de sincronía en el canal de bajada, los métodos se basan en el monitoreo de los valores configurados de potencia:

- Valor configurado no apropiado para iniciar establecimiento de un canal dedicado.
- Configuración del control de potencia del canal dedicado no apropiado.

Figura 47. **Pérdida de sincronía en el canal de bajada**



Fuente: elaboración propia.

### **6.3. Fallas de establecimiento por señalización**

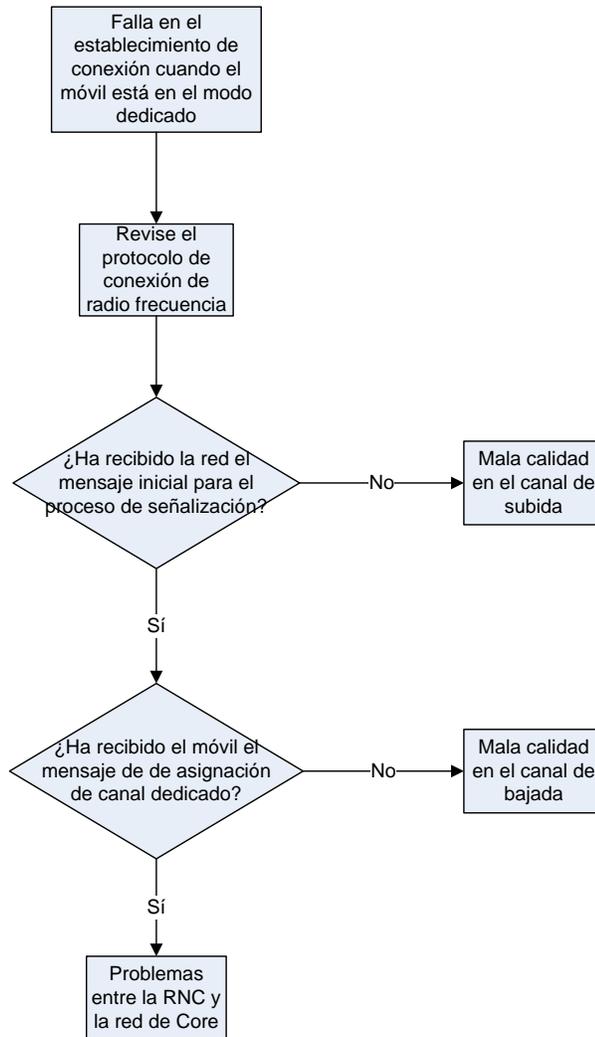
La definición de falla de establecimiento de conexión por señalización es la siguiente: un móvil ha enviado un mensaje inicial por un canal dedicado (DCH) para establecer una conexión de señalización, pero no recibe el enlace dedicado en el canal de bajada para establecer la conexión.

#### **6.3.1. Escenarios de fallas por señalización**

Tres escenarios pueden suceder en una falla de establecimiento por conexión, y son los siguientes: mala calidad en el canal de bajada y en el de subida y problemas entre la RNC y la red de CORE. (No es un problema de radio frecuencia, por lo cual no será discutido en este trabajo).

Estos escenarios pueden ser identificados monitoreando la mensajería de capa 3, tanto del móvil como de la red.

Figura 48. Escenarios de fallas de establecimiento



Fuente: elaboración propia.

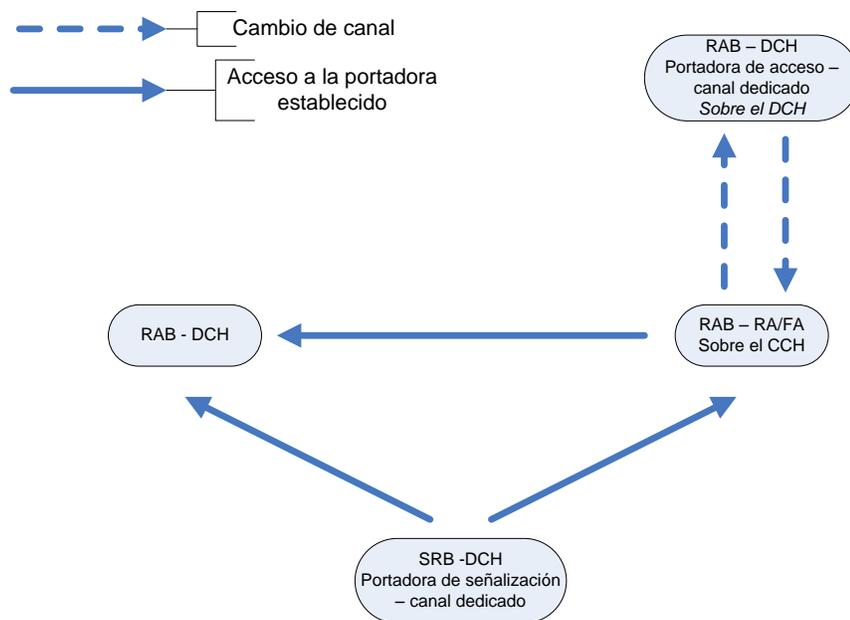
#### 6.4. Fallas de establecimiento por acceso a la portadora

Hay que reconocer que cuando existen fallas, es necesario verificar cuáles son y cómo prevenirlas o resolverlas.

### 6.4.1. Tipos de fallas de establecimiento

Existen tres tipos de establecimiento a la portadora, como se puede ver en la siguiente figura.

Figura 49. Tipos de falla por establecimiento



Fuente: elaboración propia.

### 6.4.2. Fallas de establecimiento hacia el RAB - DCH desde el estado SRD - DCH

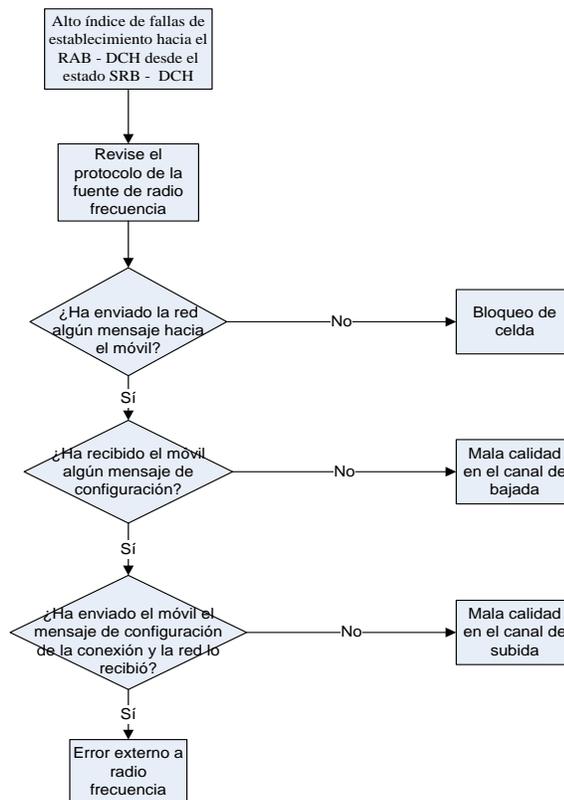
La definición de fallas de establecimiento hacia el RAB - DCH desde el estado SRB - DCH, es que la red no recibe ningún mensaje completo desde el móvil, cuando previamente ha estado en el estado SRB - DCH.

Existen cuatro escenarios para este tipo de fallas:

- Mala calidad en el canal de subida
- Mala calidad en el canal de bajada
- Bloqueo de celda
- Errores externos a radio frecuencia

Cada uno de los anteriores escenarios puede identificarse monitoreando la mensajería de capa 3, tanto del móvil como de la red.

Figura 50. **Fallas de establecimiento hacia el RAB – DCH desde el estados SRB – DCH**



Fuente: elaboración propia.

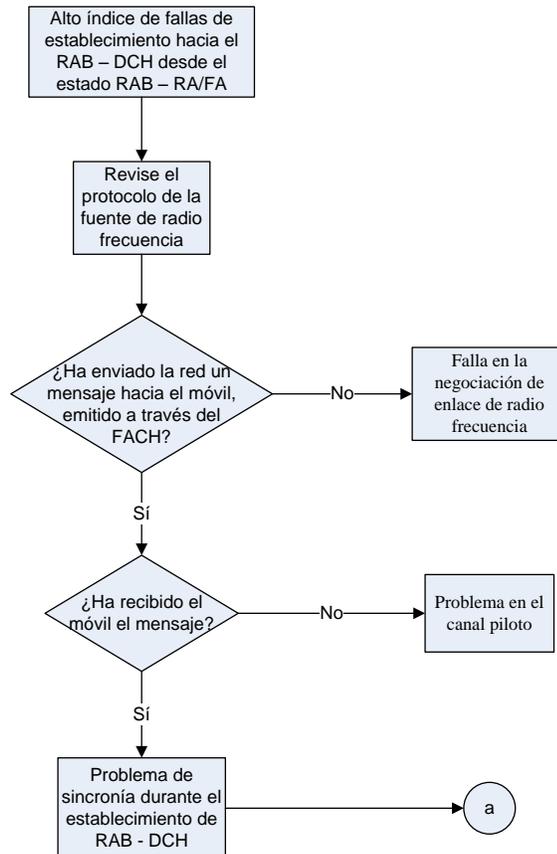
### **6.4.3. Fallas de establecimiento hacia el RAB – DCH desde el estado RAB – RA/FA**

La definición de fallas de establecimiento hacia el RAB - DCH desde el estado RAB – RA/FA, es cuando la red no ha recibido ningún mensaje completo emitido desde el móvil cuando este estuvo previamente en estado RAB – RA/FA, y se pueden dar los siguientes tres escenarios:

- Falla en la negociación de enlace de radio frecuencia, ver figura 47.
- Problema en el canal piloto, vea la figura 40.
- Problemas de sincronía durante el establecimiento de RAB –DCH.

Los siguientes escenarios se pueden identificar mediante el monitoreo de la mensajería de capa 3, tanto del móvil como de la red.

Figura 51. **Fallas de establecimiento hacia el RAB – DCH desde el estado RAB – RA/FA**

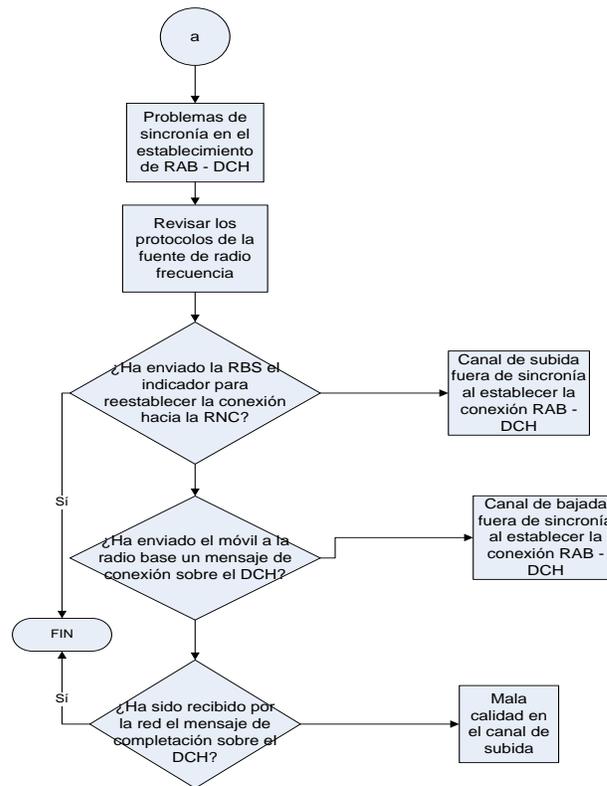


Fuente: elaboración propia.

#### 6.4.4. Escenarios de problemas de sincronía en una falla de establecimiento de RAB – DCH

Debajo de un problema de sincronía en un enlace, pueden existir tres problemas más: pérdida de sincronía en el canal de bajada, al establecer un enlace RAB – DCH (ver figura 48), pérdida de sincronía en el canal de subida, al establecer un enlace RAB –DCH (ver figura 49), y mala calidad en el canal de subida (ver sección 7.2).

Figura 52. Escenarios de problemas de sincronía en una falla de establecimiento de RAB-DCH



Fuente: elaboración propia.

#### 6.4.5. Fallas de establecimiento de RAB – RA/FA desde el estado SRB – DCH

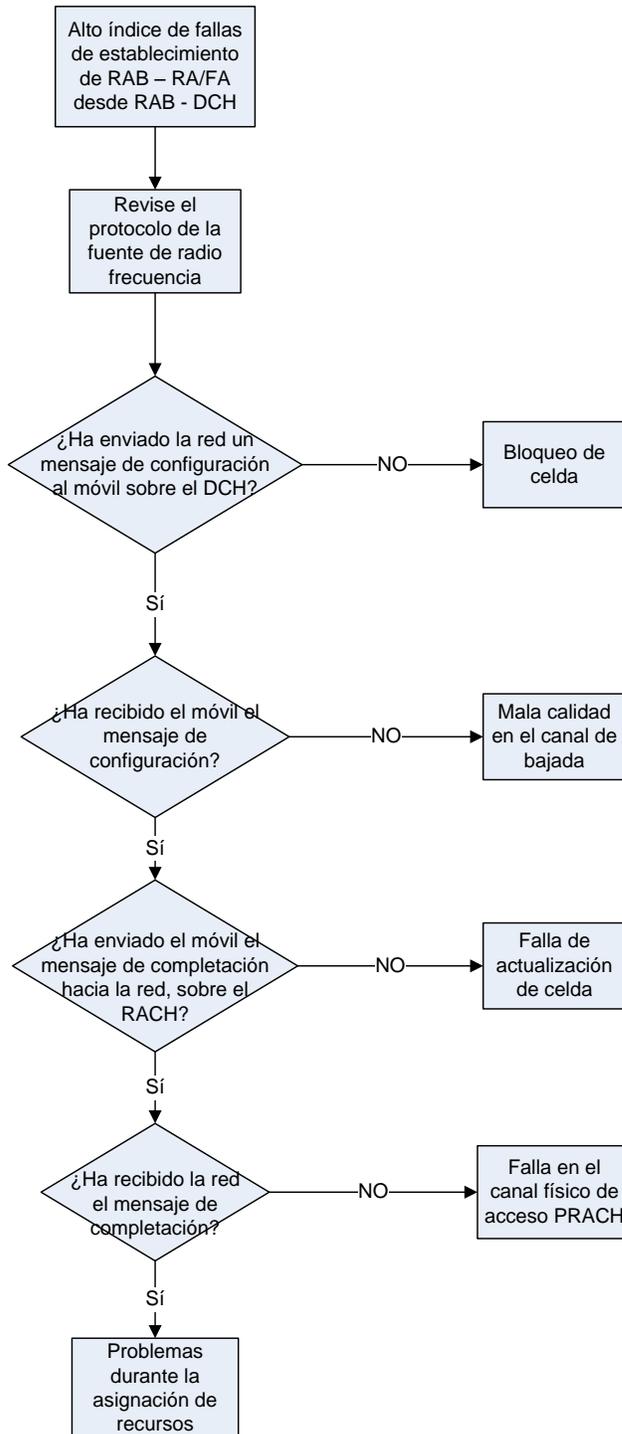
La definición de falla de establecimiento de RAB – RA/FA desde el estado SRB –DCH, es que la red no recibe ningún mensaje completo desde un móvil cuando este previamente estuvo en el estado SRB – DCH.

Puede haber 5 escenarios de este tipo de falla:

- Bloqueo de celda, ver sección 6.
- Mala calidad en el canal de bajada, ver la sección 8.3.
- Falla de movilidad en el canal común, secciones 5.4 y 5.5.
- Problemas en el canal físico de acceso PRACH, ver la figura 38.
- Problemas ocurridos durante la asignación de recursos.

Figura 53. **Fallas de establecimiento de RAB – RA/FA desde el estado**

**SRB - DCH**



Fuente: elaboración propia.

## **7. MALA CALIDAD**

### **7.1. Definición de mala calidad en el canal de subida**

Existe mala calidad en una conexión de radio frecuencia cuando existe una tasa de error muy alta en el enlace, el rendimiento de dicho enlace debe ser tomado en cuenta como indicador de calidad.

### **7.2. Mala calidad en el canal de subida**

Una mala conexión en el canal de subida puede incidir en la mala calidad del mismo.

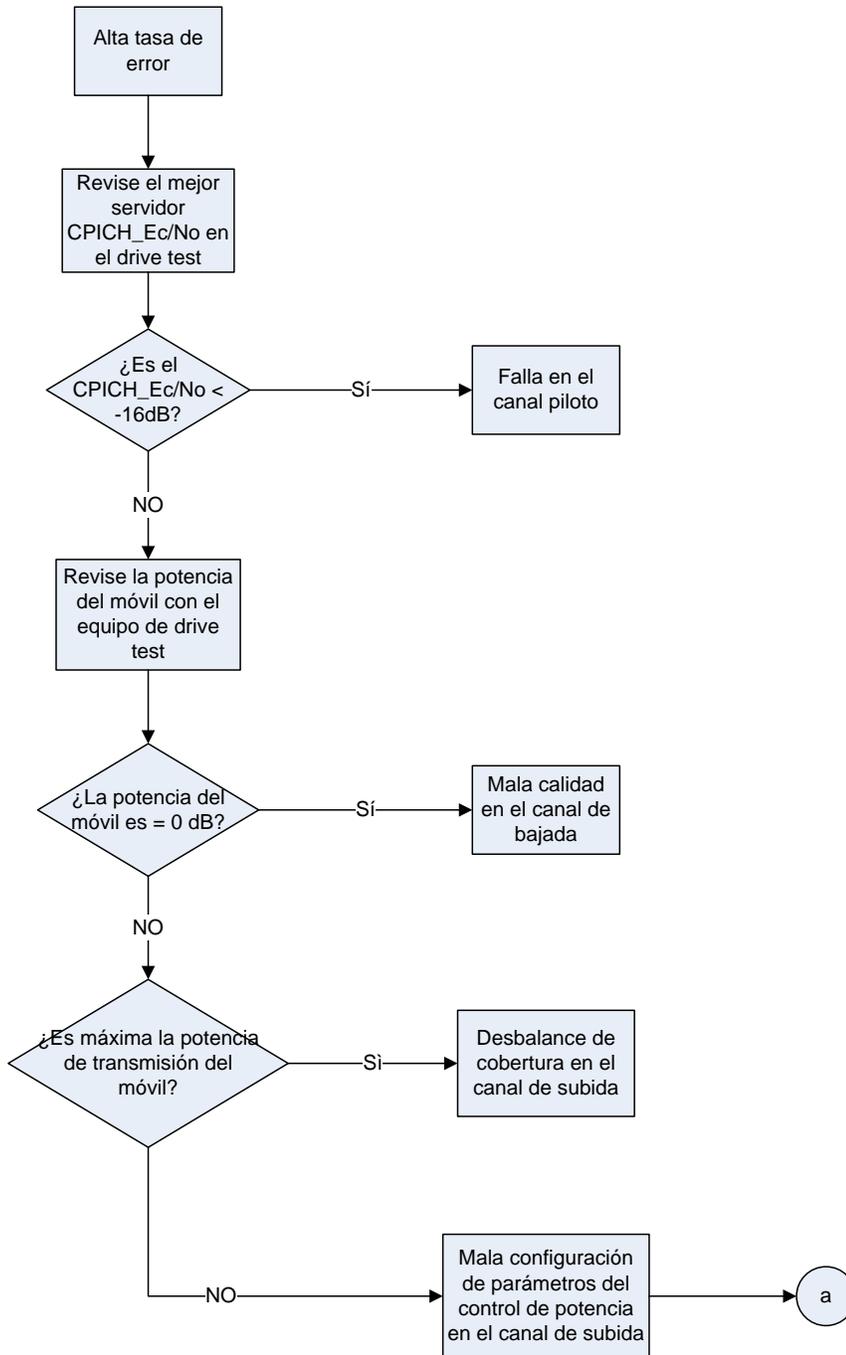
#### **7.2.1. Escenarios de mala calidad en el canal de subida**

Existen 4 escenarios para tener mala calidad en el canal de subida:

- Falla en el canal piloto
- Mala calidad en el canal de bajada
- Desbalance en la cobertura del canal de subida
- Mala configuración de parámetros del control de potencia en el canal de subida

Los anteriores escenarios pueden identificarse monitoreando la potencia del canal de transmisión del móvil, la potencia recibida [Ec/No] CPICH del mejor servidor durante el *drive test*.

Figura 54. Escenarios de mala calidad en el canal de subida



Fuente: elaboración propia.

### **7.2.2. Mala configuración de parámetros del control de potencia en el canal de subida**

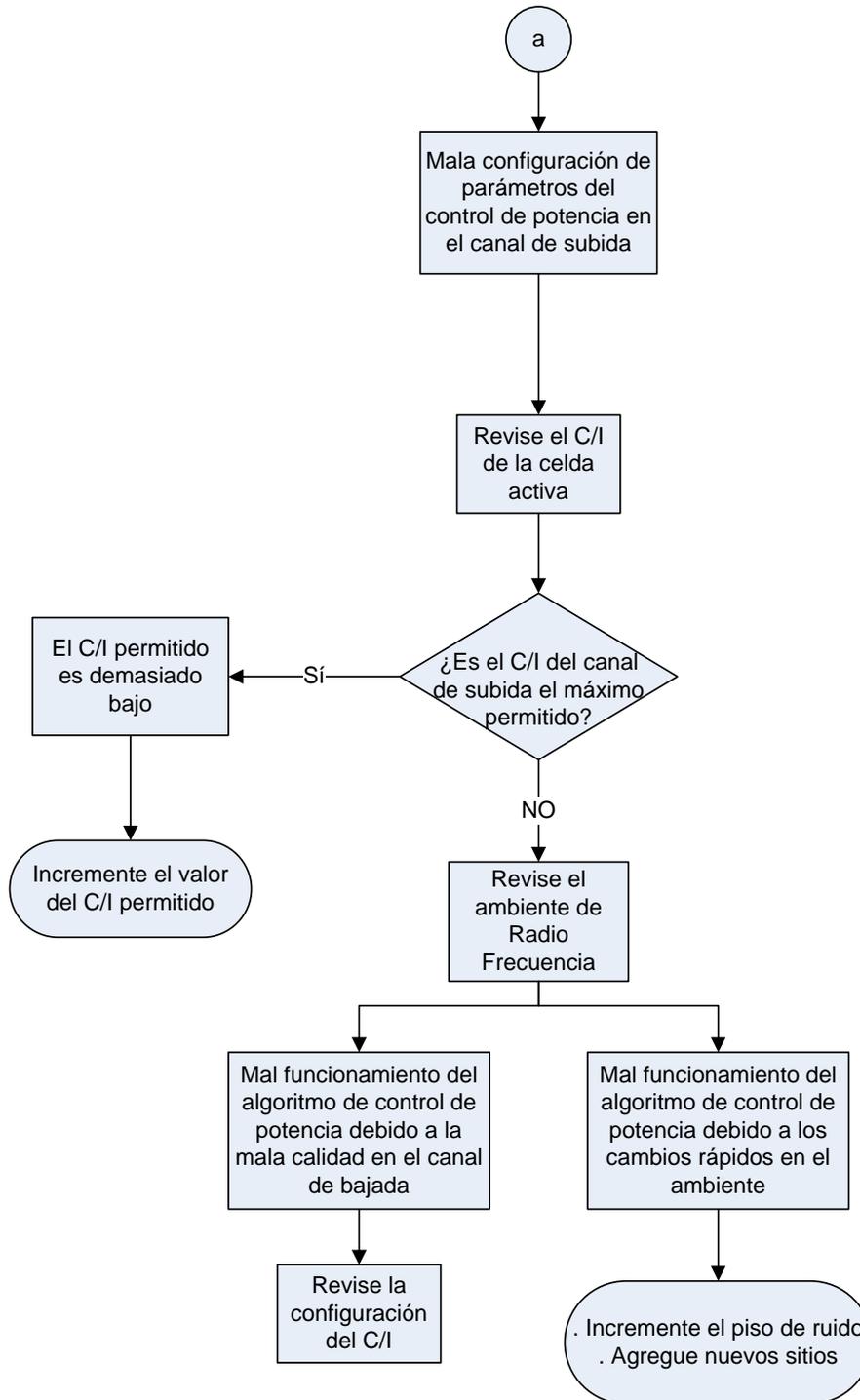
En la figura 55 se pueden observar las formas de identificar una mala configuración de parámetros del control de potencia en el canal de subida.

La potencia transmitida en el móvil es limitada debido a que el valor configurado es demasiado bajo. El móvil no transmite suficiente potencia para mantener la conexión.

El algoritmo de control de potencia en el canal de subida podría no operar apropiadamente debido a los rápidos cambios del medio ambiente.

El algoritmo de control de potencia no trabaja apropiadamente debido a la mala calidad en el canal de bajada.

Figura 55. **Mala configuración de parámetros del control de potencia en el canal de subida**



Fuente: elaboración propia.

### 7.3. Mala calidad en el canal de bajada

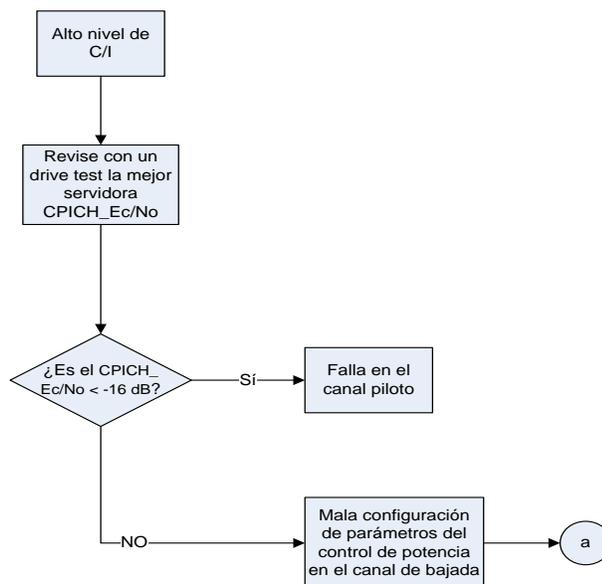
La mala calidad puede darse por fallas en el canal piloto o la mala configuración de parámetros de control.

#### 7.3.1. Escenarios de mala calidad en el canal de bajada

Existen 2 escenarios para tener mala calidad en el canal de bajada: fallas en el canal piloto y mala configuración de parámetros del control de potencia en el canal de bajada.

Los anteriores escenarios pueden ser identificados monitoreando la potencia de transmisión del móvil, y la recibida en el móvil durante el drive test.

Figura 56. Escenarios de mala calidad en el canal de bajada



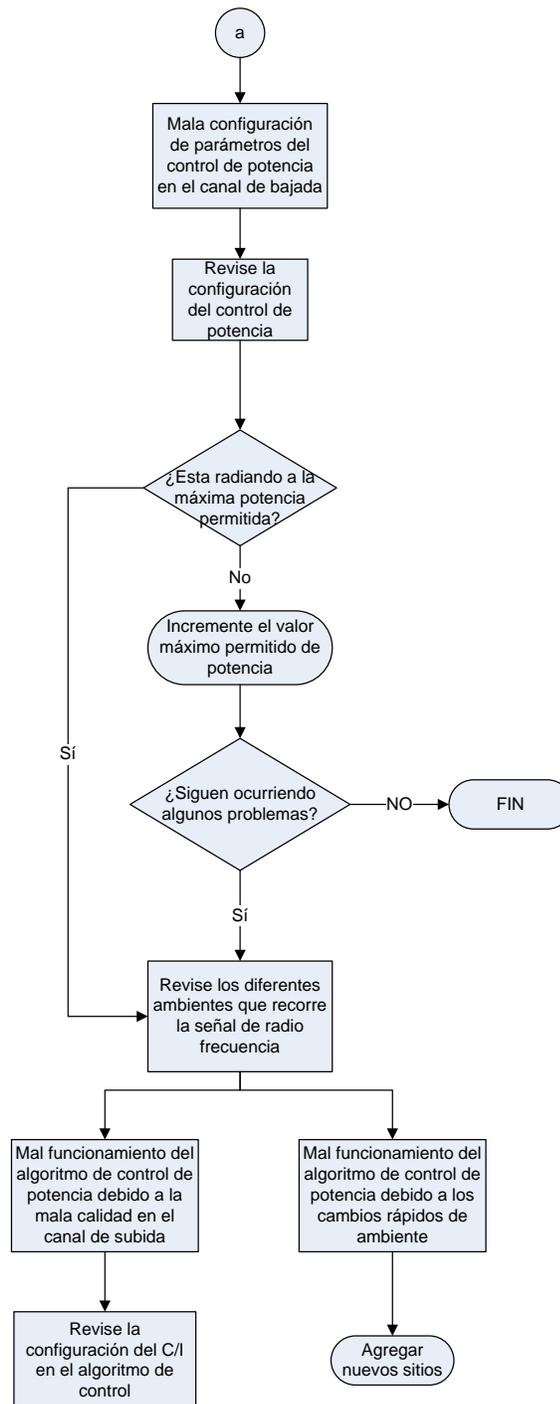
Fuente: elaboración propia.

### **7.3.2. Mala configuración de parámetros de control de potencia en el canal de bajada**

En el siguiente diagrama se muestra cómo identificar una mala configuración en los parámetros de control de potencia en el canal de bajada, tomando en cuenta lo siguiente:

- Cobertura del canal piloto y DPCH no balanceada
- El algoritmo de control de potencia no funciona adecuadamente debido a los cambios rápidos de ambientes
- El algoritmo de control de potencia no funciona adecuadamente debido a la mala calidad en el canal de subida

Figura 57. **Mala configuración de parámetros de control de potencia en el canal de bajada**



Fuente: elaboración propia.



## **8. BENEFICIOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y ESTRATÉGICOS AL IMPLEMENTAR OPTIMIZACIÓN EN UNA RED DE RADIO FRECUENCIA**

### **8.1. Beneficios técnicos**

Por medio de los datos medidos, durante la optimización, y las mejoras vistas en la misma, un operador de red de radio frecuencia puede detectar errores en la planificación y configuración inicial de los equipos de transmisión, y depurar las herramientas de planificación; así como hacer una resintonización de las herramientas de predicción de radio frecuencia y tener algo más parecido a lo real desde la mesa de diseño de red y así cada vez reducir los trabajos realizados, para mejorar la eficiencia en el uso del personal y herramientas de medición y mantener buenos indicadores de la red.

Además, con las mediciones que se realizan para optimizar se puede estar consciente de las fortalezas y debilidades, en lo que se refiere a niveles de señal y calidad, y tener mediciones comparativas entre las otras operadoras de telefonía móvil en la cual se está implementando el proceso de optimización de radio frecuencia.

Al llevar a cabo el proceso de optimización, la capacidad de usuarios y de transmisión se verá incrementada, ya que el sistema tendrá menos interferencia interna, y la capacidad es inversamente proporcional a la interferencia en el mismo.

El monitoreo del comportamiento de la red puede ayudar a tener una mejor planificación, respecto de la capacidad en un área geográfica específica, adelantando las acciones a tomar, para evitar la saturación en determinada radio base, y así evitar la mala percepción de los usuarios. Además, con el monitoreo de algunos contadores propios de la red, se obtendrá información sobre los niveles de interferencia que está recibiendo la radio base que está siendo objeto de monitoreo, los niveles de señal con los cuales están accedendo los usuarios a la red, los *handover* no ejecutados, las caídas de conexión y las fallas de acceso.

## **8.2. Beneficios económicos**

El cálculo económico para el análisis de radio frecuencia es referencial. Ya que el costo de los equipos tiene muchas restricciones para ser difundida, y además, varía dependiendo del mercado y de la oferta.

### **8.2.1. Estimación de nómina**

El esquema salarial está planteado para ofrecer puesto de trabajo a 12 personas según se puede ver a continuación. El salario se describe en dólares estadounidenses.

Tabla IV. **Planilla de sueldos**

Puesto	Sueldo por mes	Cantidad de años	Total anual	Total
Ingeniero de radio frecuencia	\$2 000,00	10	\$24 000,00	\$240 000,00
Ingeniero junior	\$1 500,00	10	\$18 000,00	\$180 000,00
Técnico en radio frecuencia	\$500,00	10	\$6 000,00	\$60 000,00
Técnico en radio frecuencia	\$500,00	10	\$6 000,00	\$60 000,00
Técnico en radio frecuencia	\$500,00	10	\$6 000,00	\$60 000,00
Técnico en radio frecuencia	\$500,00	10	\$6 000,00	\$60 000,00
Total			\$66 000,00	\$660 000,00

Fuente: elaboración propia.

### 8.2.2. **Cuantificación de gastos**

Los costos están representados por los equipos de *drive test* a utilizar; los equipos de cómputo que necesitan los ingenieros y los técnicos para procesar la información recolectada.

Deben tomarse también en cuenta los gastos representados por los viajes que se realizan, para recolectar la información de campo.

Tabla V. **Herramientas**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Total</b>
Equipo de <i>drive test</i>	2	\$80 000,00	\$160 000,00
Equipo de cómputo	6	\$1,500,00	\$9 000,00
Inversores de voltaje	2	\$150,00	\$300,00
		<b>Suma total</b>	<b>\$169,300.00</b>

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de sitios promedio puestos en servicio al mes son 15; la cantidad de visitas que se realizan por optimización, sin calibrar las herramientas de predicción son 3, por sitios desde la puesta en servicio; lo cual representa 45 visitas al mes. Al realizar dichos ajustes, constantemente a las herramientas de predicción, la cantidad de visitas por sitio se reducen a 2 desde la puesta en servicio, lo cual se reduce a 30 por mes.

Tabla VI. **Proyección de gasto sin calibración de herramientas**

	<b>Gasto diario</b>	<b>Cantidad de sitios visitados por mes</b>	<b>Gasto mensual</b>	<b>Gasto en 10 años</b>
Automóviles	\$125.00	45	\$5 625,00	\$675 000,00
Viáticos	\$100.00	45	\$4 500,00	\$540 000,00
			<b>Total</b>	<b>\$1 215 000,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Proyección de gasto con calibración de herramientas**

	Gasto diario	Cantidad de sitios visitados por mes	Gasto mensual	Gasto en 10 años
Automóviles	\$125 .00	30	\$3 750,00	\$450 000,00
Viáticos	\$100 .00	30	\$3 000,00	\$360 000,00
			<b>Total</b>	<b>\$810 000,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### 8.2.3. Resumen de gastos

A continuación se muestran los gastos tomando en cuenta los dos casos posibles para este tipo de pruebas.

Tabla VIII. **Proyección de gastos a 10 años sin calibración de la herramienta de predicción**

Sueldos	\$660 000,00
Automóviles y viáticos	\$1 215 000,00
<b>Total</b>	<b>\$1 875 000,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Proyección de gastos a 10 años con calibración de la herramienta de predicción**

Sueldos	\$660 000,00
Equipo	\$169 300,00
Automóviles y viáticos	\$810 000,00
<b>Total</b>	<b>\$1 639 300,00</b>

Fuente: elaboración propia.

La diferencia entre hacer trabajos de *drive test* y calibración de la herramienta de predicción y trabajar sin calibrar la herramienta de predicción, es de \$235 700,00.

Con base en ambas proyecciones realizadas, se recomienda la implementación de pruebas de drive test para mejorar la eficiencia del sistema y también optimizar el uso de los recursos.

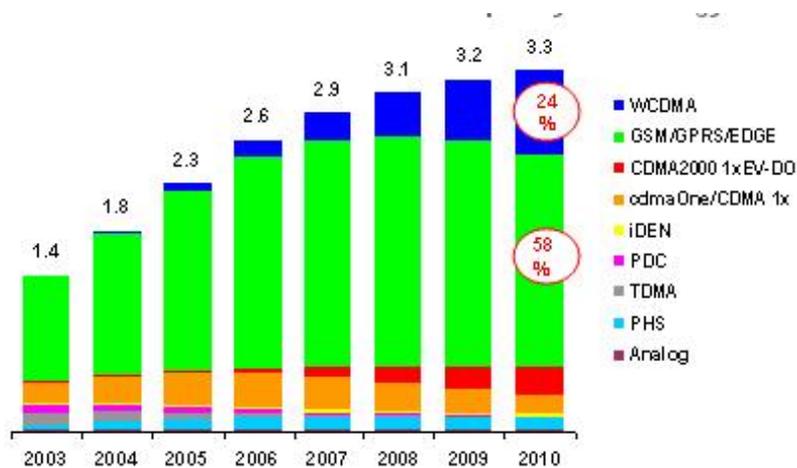
### **8.3. Beneficios estratégicos**

El mercado de la telefonía móvil es algo evolutivo. Esto significa que tanto los servicios como la operación de la red, cada vez se vuelven más complejos. Sin embargo podrá haber beneficio a partir de las lecciones aprendidas en otros mercados, en donde la tecnología 3G fue desplegada primero; a pesar de las nuevas y atractivas funciones que agrega la tecnología 3G, la voz se mantendrá como las principales fuentes de ingreso. Por tanto, la implementación de una estrategia multiproveedor puede ayudar a los operadores a incrementar la eficiencia de su red GSM, mientras que al mismo tiempo, soporta el despliegue de la red 3G.

La voz seguirá siendo la principal fuente de ingreso. Gracias a la experiencia adquirida durante estos años adicionales después del lanzamiento de la primera red UMTS, se ha aprendido que, a pesar de lo novedoso de la vídeo llamada, las velocidades mejoradas para la transmisión de datos o las fascinantes posibilidades con video *streaming*, la voz simple y tradicional será la principal fuente de ingreso para los operadores móviles, y lo seguirá siendo por lo menos durante 3 años más.

De acuerdo con Yankee group, Glovarl Mobile Forecasts, desde el 2010 la tecnología GSM mantiene el 58% de las suscripciones móviles alrededor del mundo.

Figura 58. **Tendencia de vida por tecnología**



Fuente: CHEVALLIER, Christopher. *WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Network planning and optimization consideration*. P.70.

Otro factor importante que debe considerarse es el origen de los siguientes usuarios móviles. De acuerdo con Pyramid Research, desde el 2010 el 74% de los usuarios móviles, vive en economías consideradas como emergentes y contribuyentes con el 40% del ingreso a nivel global. Esto representa un gran reto: hacer estos usuarios redituables a pesar de un bajo ARPU (ingreso promedio por usuario, por sus siglas en inglés).

La región de Latinoamérica todavía es conformada por economías emergentes, pero los operadores se están integrando al proceso de evolución de GSM, al comenzar con los primeros despliegues de redes UMTS.

Ciertamente ya pasó un tiempo considerable desde el lanzamiento de la primera red UMTS en el mundo desde el 2001.

Hoy en día los operadores de Latinoamérica se encuentran en una mejor posición respecto de aquellos pioneros de UMTS que iniciaron el despliegue y lanzamiento de sus redes y servicios -3G con base en suposiciones y sugerencias de sus proveedores. Ahora, los operadores de Latinoamérica pueden tomar como referencia las experiencias de otros mercados, y adecuar dichas experiencias al contexto de su mercado, de tal manera que se pueda garantizar una suave y menos riesgosa evolución hacia la tecnología 3G.

## CONCLUSIONES

1. Una red de radio frecuencia es susceptible al ambiente que lo rodea, el cual está cambiando constantemente debido a la evolución en la que se ve envuelta el ser humano; por lo que se monitorea y optimiza constantemente, y se realizan los trabajos pertinentes para poder prestar servicios de calidad y evitar con esto el abandono de los clientes.
2. El equipo de radio frecuencia es susceptible a interferencia interna generada por el mismo sistema al que pertenece; por lo cual se necesita controlar la potencia radiada por cada radio base, realizando drive test constantemente.
3. Al realizar los trabajos de monitoreo y optimización de la red radio frecuencia, se optimizan los recursos y se evidencia que el beneficio económico es significativo, por lo cual vale la pena implementar estos procesos.



## RECOMENDACIONES

1. Al optimizar una red de radio frecuencia se debe tener en cuenta que las áreas sujetas a cobertura son dinámicas debido al crecimiento poblacional y evolución de las ciudades y no solo hacer monitoreo de red y *drive test*, también se deben hacer inspecciones visuales regularmente.
2. Se debe tener mucho cuidado en el proceso de validación de nuevos sitios, ya que su mala ubicación puede repercutir gravemente en el sistema existente, y causar interferencia interna.
3. Hacer pruebas con un analizador de espectro para identificar posibles causas de interferencia externa, y así poder hacer las gestiones necesarias con las entidades correspondientes, para controlar o apagar las fuentes de interferencia que puedan efectuar la red de radiofrecuencia.
4. Implementar un laboratorio de mediciones de radio frecuencia en el laboratorio de Electrónica de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, para analizar estos fenómenos previos a la implementación real.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AGHBAMI, Hamid; DOHLER, Mischa; NAWROCKI, Maciej J. *Understanding UMTS radio network modeling: planning and automated optimization*. England: John Wiley & Sons, 2005. 77 p.
2. GILL, Trevor. *Radio planning and optimization-the challenge ahead, 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*. England: Vodafone Group London, 2003. 66 p.
3. CHEVALLIER, Christopher. *WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Network planning and optimization consideration*. 2<sup>nd</sup> ed. London: Wiley & Sons, 2004. 280 p.
4. MOE, Rahnema. *UMTS Network planning: optimization, and inter-operation with GSM*. 3<sup>rd</sup> ed. Singapore: Wiley-IEEE Press, 2007. 320 p.
5. VARRALL, Geoff. *3G Handset and Network Design*. Indianapolis: Wiley composition service, 2003. 532 p.