



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE SEÑALES Y SISTEMAS



**CONSTRUCCIÓN DE UN MANUAL DE RECOMENDACIONES PARA
LA PLANIFICACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DEL PARÁMETRO
PHYSICAL CELL ID (PCI) EN LAS CELDAS DE LA RED LTE**

TORRES YOFRANK
VALOR ROMER

Bárbula, 7 de diciembre del 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE SEÑALES Y SISTEMAS



**CONSTRUCCIÓN DE UN MANUAL DE RECOMENDACIONES PARA
LA PLANIFICACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DEL PARÁMETRO
PHYSICAL CELL ID (PCI) EN LAS CELDAS DE LA RED LTE**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE
CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

TORRES YOFRANK
VALOR ROMER

Bárbula, 7 de diciembre del 2016

Dedicatoria

*A Dios,
a mi ángel,
a mis padres, hermano y familia,
a mi novia.*

TORRES YOFRANK

A mi incansable madre, la base de todo lo que soy.

VALOR ROMER

Agradecimientos

Primeramente a Dios por finalmente permitirme alcanzar mi más deseado sueño. Su tiempo es perfecto y este fue el escogido para mi.

En segundo agradezco a mis padres los cuales son el pilar de mi vida. Personas inigualables abocadas a mi bienestar y a mi felicidad. Gracias por las enseñanzas y principios inculcados que llevaron hacer de mi lo que soy ahora, a ustedes les debo esto.

A mi hermano por ser ese ingeniero admirable el cual me llena de orgullo.

A mi novia, por ser ese apoyo incondicional, paciente y comprensivo que estuvo a mi lado durante estos años. Gracias por ser la mujer que decidió vivir esta experiencia conmigo desde que empecé y la que hoy comparte conmigo la alegría de haber alcanzado mi meta.

A mi familia, amigos y compañeros que de una u otra forma aportaron un grano de arena en lo que ahora es una gran montaña.

A la escuela de Telecomunicaciones, en especial a los mis ahora colegas, profesores, por brindarme sus conocimientos y experiencias.

A todos y cada uno de esas personas que creyeron en mi y que ahora se alegran de ver materializado mi gran meta profesional.

A todos ustedes..¡GRACIAS!

Torres Yofrank . . .

A mi madre, cuyo amor incondicional y orientación incesante me ha permitido llegar hasta aquí, este logro le pertenece. A toda mi familia, en ella he encontrado siempre profundo apoyo y cariño. A todos los profesores especialmente de la Escuela de Telecomunicaciones que me instruyeron a lo largo de esta maravillosa senda y me convirtieron de una u otra forma en el ingeniero que soy. A mi novia y mis amigos que me ayudaron y escucharon en cualquier momento de tribulación.

Valor Romer . . .

Índice general

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas	XIII
Acrónimos	XV
Resumen	XVII
I. Introducción	1
1.1. MOTIVACIÓN	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcances	4
II. Marco conceptual	5
2.1. Modulación OFDM como técnica para la transmisión del parámetro PCI	5
2.1.1. OFDMA: enlace descendente como etapa de sincronización del móvil	5
2.1.1.1. Esquema de modulación: Bloques Funcionales del transmisor	6
2.1.1.2. Esquema de modulación: bloques funcionales del receptor	9
2.2. Capa física de la red LTE y su relación con el parámetro PCI	10
2.2.1. Prefijo cíclico (CP)	12
2.2.2. Estructura de la trama	13
2.2.3. Physical Cell ID (PCI)	14
2.2.4. Sincronización en LTE	15
2.2.4.1. Señal de Sincronización Primaria (P-SCH):	17
2.2.4.2. Señal de Sincronización Secundaria (S-SCH):	18
2.2.5. Señales de referencia (RS):	22
2.2.5.1. Mapeo de las secuencias en la grilla de recursos:	24

2.3. Modelos de canal según la estandarización de la 3GPP, involucrados en la asignación del parámetro PCI	27
2.3.1. Desplazamiento Doppler	28
2.3.2. Modelos del canal en LTE	29
III. Procedimientos de la investigación	31
3.1. Fases de la investigación	31
3.1.1. Fase 1: Caracterización de Secuencias.	34
3.1.2. Fase 2: Simulación y análisis del sistema.	34
3.1.2.1. Transmisor	35
3.1.2.2. Canal	36
3.1.2.3. Receptor	37
3.1.3. Fase 3: Generación de recomendaciones o estrategias para la asignación del parámetro PCI.	41
IV. Análisis, interpretación y presentación de los resultados	43
4.1. Comportamiento de las señales de sincronización y referencia en función del parámetro PCI.	43
4.1.1. Análisis inicial de las señales	43
4.1.1.1. Análisis correlativo de las señales secundarias	48
4.1.2. Construcción de la grilla de elementos de recursos	50
4.2. Análisis del comportamiento de las señales de sincronización y referencias a través de modelos de canales típicos en LTE	52
4.2.1. Ensayo de verificación BER Vs. SNR(dB)	54
4.3. Generación del concepto de <i>Factor de Riesgo (FR)</i>	56
4.3.1. Generación de base de datos	56
4.4. Generación de documento de recomendaciones	60
V. Conclusiones y recomendaciones	63
5.1. Conclusiones	63
5.2. Recomendaciones	64
A. METODOLOGÍA DE ASIGNACIÓN DEL PARÁMETRO PHYSICAL CELL ID (PCI) EN LA RED LTE MEDIANTE EL FACTOR DE RIESGO V1.1. (12-2016)	67
1.1. Metodología de Asignación del parámetro PCI basada en el FR	69
1.1.1. Proceso de elección de enfoque	70
1.1.1.1. Proceso de enfoque detallado	71
1.1.1.2. Proceso de enfoque general	73
1.1.2. Proceso de verificación y asignación	75
1.1.2.1. Proceso de reutilización:	80
1.2. Base de datos	81

Índice general	IX
1.2.1. Estructura de la data	82
1.3. Calculo del FR	86
1.4. Historia	90
Referencias Bibliográficas	91

Índice de figuras

2.1. Empleo de OFDMA como técnica de acceso múltiple. (Fuente: Jimenez [16])	6
2.2. Esquema de bloques del transmisorin.	7
2.3. Esquema de bloques del receptor.	9
2.4. Estructura de un PRB.	11
2.5. Desplazamiento de símbolos sin prefijo cíclico por multitrayecto. (Fuente: David [11])	12
2.6. Desplazamiento de símbolos con prefijo cíclico por multitrayecto. (Fuente: David [11])	13
2.7. Estructura de la trama. (Fuente: Sallent [14])	14
2.8. Problemas generadores de interferencia. (Fuente: Jingjie Yu [21])	16
2.9. Estructura de la Señal de Sincronización Primaria.	17
2.10. Estructura de la Señal de Sincronización Secundaria. (Fuente: Sallent [14])	19
2.11. Señales de referencia para una unica antena. (Fuente: Sallent [14])	23
2.12. Organización frecuencial dentro de la grilla de recursos. (Fuente: Rumey [22])	25
3.1. Metodología técnica de análisis de PCI.	32
3.2. Diagrama del metodo de análisis para el parámetro PCI.	33
3.3. Relación del generador de secuencias para las P-SCH.	34
3.4. Relación del generador de secuencias para las S-SCH.	35
3.5. Relación del generador de secuencias para las RS.	35
4.1. Partes reales e imaginarias de las secuencias P-SCH	44
4.2. Representación en el plano complejo de las secuencias P-SCH	45
4.3. Correlaciones entre las secuencias P-SCH	46
4.4. Secuencias S-SCH para el PCI=0	47
4.5. Secuencias S-SCH para el PCI=1	47
4.6. Correlaciones de las secuencias m de las S-SCH	48
4.7. Correlación cruzada de la secuencia S-SCH del PCI=6 en la subtrama 0 Vs. el resto de los PCI	49

4.8. Correlación cruzada de la secuencia S-SCH del PCI=6 con la secuencia S-SCH del PCI=10 en la subtrama 0	49
4.9. Grilla de elementos de recursos para PCI=0	50
4.10. Grilla de elementos de recursos para PCI=3	51
4.11. Corrimientos en la grilla de recursos debido a la utilización de una antena transmisora	51
4.12. Señal OFDM para el PCI=0	52
4.13. Promedio de eficiencia de aciertos para el caso sin perturbaciones.	53
4.14. Promedio de eficiencia de aciertos para el caso con perturbaciones.	54
4.15. Gráfica de BER vs SNR(dB) con Esquema de Modulación QPSK en ambiente gaussiano, obtenida a travez del sistema.	55
4.16. Gráfica de BER vs SNR(dB) con Esquema de Modulación QPSK en ambiente gaussiano. (<i>Fuente: Lokendra Singh [27]</i>)	55
4.17. Relaciones del Factor de Riesgo (FR).	56
4.18. Extracto de 30x60 de la matriz del FR para un modelo de canal EPA de 5Hz y un SNR=1.	59
4.19. Representacion de matrices de Factor de Riesgo para los distintos modelos de canales de comunicaciones y valores SNR.	60
1.1. Esquema para la toma de decisión existente en la primera fase de asignación del parámetro PCI.	70
1.2. Proceso para la generación de enfoque.	71
1.3. Proceso de enfoque detallado.	73
1.4. Proceso de enfoque general.	74
1.5. Proceso de verificación y asignación.	76
1.6. Proceso de verificación y asignación de forma detallada.	77
1.7. Comprobaciones para 1 y 2 celdas.	78
1.8. Comprobaciones para 3 celdas.	78
1.9. Comprobaciones para 4 celdas.	79
1.10. Comprobaciones para N celdas.	79
1.11. Permutación de comprobación para todas las celdas.	80
1.12. Proceso de reutilización.	81
1.13. Matriz del FR.	83
1.14. Matrices del FR para todos los valores de SNR y modelos de canales estudiados.	84
1.15. Matrices promedio del FR cuando se deja sin especificar valores de SNR y modelo del canal y matriz promedio general entre todos los canales y valores de SNR	85

Indice de tablas

2.1. Canalización en el sistema LTE (Fuente:Sallent [14])	6
2.2. Número de PRBs en función de la canalización (Fuente:Sallent [14]) .	11
2.3. Valor de $N_{ID}^{(2)}$ en función del índice raíz u. (Fuente:LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation. TS 36.211 version 11.4.0 Release 11. [12])	18
2.4. Variaciones de la potencia recibida de multipath fading bajo condiciones de retardo de dispersión EPA. (Fuente:LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception. TS 36.104 version 11.2.0 Release 11. [25])	29
2.5. Variaciones de la potencia recibida de multipath fading bajo condiciones de retardo de dispersión EVA. (Fuente:LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception. TS 36.104 version 11.2.0 Release 11. [25])	30
2.6. Variaciones de la potencia recibida de multipath fading bajo condiciones de retardo de dispersión ETU (Fuente:LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception. TS 36.104 version 11.2.0 Release 11. [25])	30
3.1. Modelos de canales con las variaciones del efecto Doppler utilizadas.	37
4.1. Relación de colores y niveles de riesgo para el FR	58
1.1. Tabla de parámetros de elección por el operador para el enfoque detallado.	72
1.2. Tabla de parámetros de elección por el operador para el enfoque detallado.	75
1.3. Relación de colores para el FR.	83
1.4. Índice c para cada modelo de canal utilizado.	86
1.5. Índice r para cada nivel de SNR.	86

Acrónimos

CDMA	Code Division Multiplex Access
DL	Downlink
eNB	evolved NodeB
FDD	Feature Driven Development
FR	Factor de Riesgo
GSM	Global System for Mobile Telecommunication
HARQ	Hybrid ARQ
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PCI	Physical Cell ID
PRB	Physical Resource Block
P-SCH	Primary Synchronization Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
RTT	Reglamento Internacional de las Telecomunicaciones
RS	Referent Signal
RSP	Referent Signal Primary
RSS	Referent Signal Secondary
S-SCH	Secondary Synchronization Channel
SC-FDMA	Secondary Carrier Frequency Division Multiple Access
SCH	Synchronization Channel

TDD	Test Driven Development
TS	Time Slot
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telephone System
UP	Uplink

**CONSTRUCCIÓN DE UN MANUAL DE RECOMENDACIONES PARA
LA PLANIFICACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DEL PARÁMETRO
PHYSICAL CELL ID (PCI) EN LAS CELDAS DE LA RED LTE**

por

TORRES YOFRANK y VALOR ROMER

Presentado en el Departamento de Señales y Sistemas
de la Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones
el 7 de diciembre del 2016 para optar al Título de
Ingeniero de Telecomunicaciones

RESUMEN

Entre las principales causas que impactan la calidad de servicio prestada por una telefonía móvil, está el aspecto de la movilidad, proceso presente cuando el usuario inicia cambios en su localización física y lógica, implicando no perder la conexión constante con la red. La escasa información descrita en el estándar de LTE (3GPP), para la generación de una óptima asignación del parámetro PCI (physical cell ID), dentro de la planificación de la red, evitando el mencionado problema de movilidad, trae consigo dificultades como colisión y confusión dentro de las áreas de cobertura delimitadas por las celdas, traducándose en una mala calidad del servicio para los usuarios. Tomando esto en cuenta, se pretende realizar un análisis

cuantitativo, por medio de procesos de correlación y análisis espectral de las señales involucradas en el capa física del esquema LTE, como lo son, las señales de sincronización primarias, señales de sincronización secundarias y señales de referencia; a partir de las conclusiones de dicho estudio, se desarrollará un documento de recomendaciones, que sea de utilidad para los operadores y/u organismos de regulación, para garantizar una mejora en la planificación de los valores PCI, tanto en la etapa de planificación de una nueva red de telefonía, como en la mejora de las ya existentes, mitigando los problemas causados debido a la mala asignación de dicho parámetro...

Palabras Claves: LTE, Señales de Sincronizacion, Señales de Referencia, PCI

Tutor: AHMAD OSMAN

Profesor del Departamento de Señales y Sistemas

Escuela de Telecomunicaciones. Facultad de Ingeniería

Capítulo I

Introducción

1.1. MOTIVACIÓN

Las demandas generadas por los venezolanos en el mercado de telefonías móviles y redes de comunicación, han impulsado el desarrollo masivo de una tecnología móvil de alta capacidad conocida como LTE (por sus siglas en inglés, Long Term Evolution), exigiendo la actualización y desarrollo constante en la red telefónica para mejorar la calidad de servicio prestada o QoS (Quality of Service), disminuyendo así, la insatisfacción general actual del cliente venezolano. [1], [2]

Entre las principales causas que impactan el factor QoS, está el aspecto de la movilidad, proceso presente cuando el usuario inicia cambios en su localización física y lógica, implicando no perder la conexión constante con la red. Cuando dicho proceso no es soportado adecuadamente, genera insatisfacción en los usuarios, trayendo como consecuencias quejas por la calidad de servicio en las llamadas realizadas, debido a que se manifiestan fenómenos como ecos, interferencias, o simplemente porque en algunos lugares se interrumpe la cobertura en su móvil. [2], [3]

La planificación de celdas es de vital importancia para el óptimo comportamiento de la red LTE, debido a que en dicho proceso se escogerán, entre otras cosas, las señales que serán necesarias en la capa física del sistema en el proceso de movilidad e identificación de las celdas que se encuentran dentro del área de localización del

usuario, así como también, las necesarias para obtener la estimación del canal de comunicaciones. [4]

En este contexto, cada celda del sistema de comunicaciones está identificada por un valor de PCI (por sus siglas en inglés, Physical Cell ID), el cual, es generado por las señales de sincronización. El valor de PCI que va de 0 a 503 es utilizado por el móvil para identificar la celda y discriminar, a la larga, unas celdas de otras. [5]

Diversos estudios, como el trabajo de investigación realizado en la Universidad de Málaga por Acedo, Toril, Luna, Bandera y Faour, titulado *Analysis of the impact of PCI planning on downlink throughput performance in LTE*, enfatizan que la asignación razonable de PCI es capaz de reducir de forma considerable la interferencia en el sistema LTE para mejorar la cobertura de cada celda y los valores de QoS de la red; señalando la dependencia existente entre la planificación y el desempeño de la red de telefonía. [6]

Con una cantidad limitada de valores de PCI distintos, surgen las interrogantes, ¿Qué diferencia hay entre asignar unos u otros? ¿Cómo es el comportamiento que producen un cierto conjunto de estos PCI asignados a celdas vecinas o cercanas? ¿Cuál es la manera más óptima de asignarlos? Las preguntas como las antes expuestas son de interés primordial para ser tomadas como base en la realización de la planificación de una red de telefonía celular, evitando, en todo momento, los problemas debido a colisión, que hace referencia cuando a dos celdas vecinas se les asigna valores de PCI iguales, y problemas de confusión, generándose cuando dentro de un grupo de por lo menos tres celdas, dos tienen valores iguales de PCI y el dispositivo móvil se encuentra en la disyuntiva de a cual celda conectarse.[7]

A pesar de existir en la actualidad, estudios realizados que brindan propuestas de esquemas de planificación de PCI, la mayoría son de carácter privado, realizados por empresas de telecomunicaciones para mejorar sus servicios, manteniendo la confidencialidad en la información del proceso utilizado para la generación del parámetro sometido a estudio. Aunado a esto, no existe estandarizado ningun proceso optimo de planificación del parámetro PCI. [8], [9]

El parámetro de PCI es designado mediante softwares manejados por el planificador de la red, que en última instancia no generan los mejores caminos de asignación para contrarrestar los conflictos comunes que siguen presentándose dentro de las comunicaciones móviles y que son traducidos en un bajo valor de QoS e insatisfacción del usuario, además de no indicar bajo qué criterios se hace la selección del parámetro de PCI.

Dadas estas circunstancias, se pretende desarrollar un documento técnico de recomendaciones, que sea de utilidad para los operadores móviles, para garantizar una mejora en la planificación de los valores de PCI, tanto en la etapa de planificación de una nueva red de telefonía, como en la optimización de las ya existentes, mitigando los problemas causados debido a una mala asignación de dicho parámetro.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Construcción de un manual de recomendaciones para la planificación de la asignación del Parámetro Physical Cell ID (PCI) en las celdas de la red LTE.

1.2.2. Objetivos específicos

- Estudiar el comportamiento de las señales de sincronización primaria, de sincronización secundaria y señales de referencia específica, en función del parámetro PCI.
- Simular el comportamiento de las señales de sincronización primaria, de sincronización secundaria y señales de referencia a través del canal de comunicaciones descrito en el esquema de la red LTE.
- Elaborar una documentación de recomendaciones técnicas para la planificación en la asignación del parámetro PCI en la red LTE.

1.3. Alcances

Con el objeto de cumplir cabalmente los objetivos propuestos, luego de obtener un conocimiento exacto sobre la función que cumple el parámetro PCI dentro de la red LTE, se procederá a generar, mediante simulación, las secuencias de sincronización primaria, secuencias de sincronización secundarias y señales de referencia específica para cada valor de PCI asignable según el estándar de la 3GPP. Una vez adquirido este conjunto de secuencias y datos, se someterán a técnicas de análisis de señales en el tiempo y la frecuencia, cada secuencia de sincronización primaria y secundaria, para posteriormente definir y evaluar su comportamiento en presencia de las otras secuencias homólogas. Posteriormente se evaluará el comportamiento de dichas señales al ser introducidas en un canal con perturbaciones, esquematizando el estándar de la red LTE.

Finalmente, se construirá un documento de recomendaciones que aporte estrategias orientadas a una planificación eficiente, mejorando con esto, la calidad de servicio o valores de QoS dentro de la red LTE.

Capítulo II

Marco conceptual

2.1. Modulación OFDM como técnica para la transmisión del parámetro PCI

Hoy en día, en las comunicaciones inalámbricas de banda ancha, la técnica de transmisión multiportadora Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) es una de las tecnologías presentes en capas físicas más utilizadas. Su éxito se basa en que la selectividad en frecuencia es una característica que no sólo depende del canal sino también del ancho de banda de la señal transmitida. La idea fundamental de OFDM consiste en disminuir el ancho de banda con que se transmite una señal con el fin de que el efecto de la selectividad en frecuencia le afecte lo menos posible, disminuyendo en gran medida la interferencia entre símbolos en el receptor (Intersymbol Interference (ISI)).[2], [3]

2.1.1. OFDMA: enlace descendente como etapa de sincronización del móvil

El enlace descendente hace referencia al enlace creado del eNb al móvil, siendo dicho punto el enmarcado para procesos de sincronización y ubicación por parte del UE cuando desea hacer uso de la red. La técnica de acceso múltiple OFDMA

(Orthogonal Frequency Division Multiple Access), utilizada en el enlace descendente de LTE, surge de forma natural a partir de la modulación OFDM presentada anteriormente al considerar la posibilidad de que los diferentes símbolos modulados sobre las subportadoras pertenezcan a usuarios distintos. De esta forma, es posible acomodar varias transmisiones simultáneas correspondientes a diferentes flujos de información al viajar en subportadoras diferentes, tal y como se ilustra en el esquema de transmisión de la figura 2.1. [15]

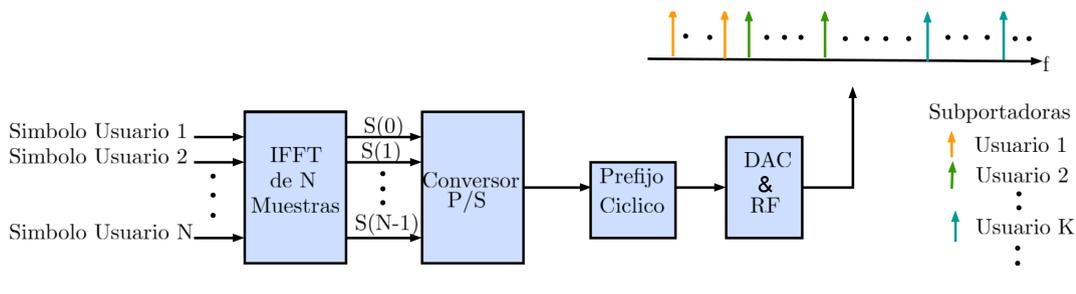


Figura 2.1: Empleo de OFDMA como técnica de acceso múltiple. (Fuente: Jimenez [16])

Tanto en el enlace descendente como ascendente, la separación entre subportadoras es fija e igual a 15KHz. El número de subportadoras disponibles varía en función de la canalización del sistema, tal como se indica en la tabla 2.1. Además podrá operar tanto en los modos de duplexión por división de tiempo (TDD) y duplexión por división de frecuencia (FDD), pero siendo esta última de especial interés por ser la utilizada en el territorio venezolano, por tanto, la que someteremos a estudio.

Tabla 2.1: Canalización en el sistema LTE (Fuente:Sallent [14])

Canalización	1,4MHZ	3MHZ	5MHZ	10MHZ	15MHZ	20MHZ
Tamaño FFT	128	256	512	1024	1536	2048
# de Subportadoras	73	181	301	601	901	1201

2.1.1.1. Esquema de modulación: Bloques Funcionales del transmisor

A fin de entender de forma visual esta etapa, se presenta en la figura 2.2 el esquema de bloques de la modulación en la etapa transmisora

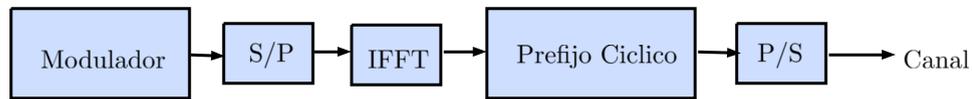


Figura 2.2: Esquema de bloques del transmisorin.

- Modulador: Tal y como se estipula en la Release 11, en el enlace descendente de LTE se pueden usar tres tipos distintos de moduladores: QPSK, 16-QAM y 64-QAM, que serán los encargados de convertir los bits de entrada en símbolos complejos. Estos símbolos complejos serán los encargados de alimentar al conversor serie paralelo y además al bloque de la IFFT. [5], [12]
- Conversor Serie Paralelo: El objetivo de este bloque es convertir los símbolos en serie que entran al sistema en una matriz definida por tantas filas como portadoras disponga el sistema, este número vendrá definido por el tamaño de la FFT usada, que dependerá del ancho de banda estipulado en la transmisión. Las columnas resultantes representan el dominio temporal. Cada señal será trasladada a su correspondiente frecuencia portadora que será la que finalmente realizará la transmisión. Otro aspecto importante de este bloque y que será posteriormente clave en el ecualizador es la adición de diferentes símbolos de referencia intercalados dentro la matriz de forma estratégica según el estándar. Gracias a la correcta ubicación de estos símbolos, más tarde en el receptor (concretamente en el bloque del ecualizador) se podrán interpolar los efectos del canal para las diferentes sub-portadoras. El objetivo de estos símbolos es evaluar el comportamiento del canal sobre cada uno de ellos, para poder corregir en el ecualizador la degradación sufrida por los símbolos transmitidos debido al efecto del canal multitrayecto. [17], [14]
- IFFT: La IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) se encarga de pasar la señal del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo, tanto la IFFT como la FFT son fundamentales en la implementación del sistema OFDM. La matriz obtenida consistirá en la superposición de distintas IFFTs realizadas de forma

consecutiva sobre cada columna de la matriz de entrada. [17]

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{-j\omega t} \cdot d\omega = \mathfrak{F}^{-1}\{X(\omega)\} \quad (2.1)$$

Siendo $x(t)$ la señal continua resultante en el dominio del tiempo y $X(\omega)$ la señal en el dominio de la frecuencia.

- Prefijo cíclico: en cualquier sistema de comunicaciones móviles, la propagación se ve afectada por diferentes fenómenos que varían según el entorno del terminal móvil receptor, tales como la presencia de múltiples reflexiones, la difracción por obstáculos, etc. Estas réplicas de la señal en el dominio del tiempo se traducirán en un canal con varios multitrayectos. La presencia de este multitrayecto provocará en el receptor que la señal recibida esté compuesta por la superposición de múltiples réplicas de la señal transmitida con diferentes amplitudes y retardos. Esto se traduce en un ensanchamiento temporal de la señal, pudiéndose llegar a producir solapamientos entre símbolos adyacentes, dando lugar así a interferencia. El prefijo cíclico consiste en añadir la parte final del símbolo y copiarla al principio del símbolo. Su tamaño debe ser mayor que la respuesta impulsiva del canal. El efecto de este símbolo previo se evita eliminando posteriormente en el receptor esta extensión cíclica añadida. [11], [17]
- Conversor Paralelo Serie: La matriz que entra a este bloque se transforma en un vector lineal antes de abandonar el transmisor y llegar al canal. Se recorre la matriz por símbolos para realizar la conversión, es decir, todos los símbolos de la matriz con su prefijo cíclico incluido se transmiten de forma contigua.
- En tanto que desplazamientos cíclicos o circulares de una determinada secuencia dan lugar a secuencias ortogonales entre sí, se pueden obtener múltiples secuencias con buenas propiedades de ortogonalidad a partir de una secuencia Zadoff-Chu raíz o de referencia.

2.1.1.2. Esquema de modulación: bloques funcionales del receptor

A fin de entender de forma visual esta etapa, se presenta en la figura 2.3 el esquema de bloques de la modulación en la etapa transmisora

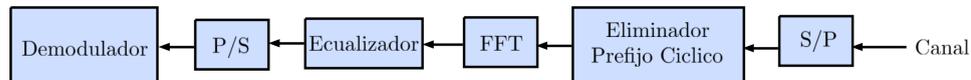


Figura 2.3: Esquema de bloques del receptor.

- Conversor Serie Paralelo: El vector lineal que sale del canal se transforma en una matriz con la misma estructura que la trabajada en el transmisor.
- Eliminar Prefijo Cíclico: La extensión cíclica (añadida en el transmisor) es quitada del inicio de todos los símbolos.
- FFT: Símbolo por símbolo se pasa del dominio del tiempo al de la frecuencia.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} \cdot ds = \mathcal{F}\{x(t)\} \quad (2.2)$$

Siendo $x(t)$ una función continua en el dominio del tiempo y $X(\omega)$ la señal resultante en el dominio de la frecuencia.

- Ecuador: Los símbolos llegan al receptor con un cambio de amplitud y de fase debido al impacto del canal para las diferentes sub-portadoras. El ecuador se encarga de obtener una matriz H que sirva para solventar los problemas surgidos mediante una estimación del canal basada en los símbolos de referencia introducidos en el transmisor. Para la consecución de la matriz H debe realizarse una estimación de canal en frecuencia y tiempo, lo que supone una gran carga computacional y mayor complejidad para el sistema. Existen algoritmos que calculen por separado la estimación en la dirección frecuencial de la dirección temporal. Esta estimación será menos precisa si el ruido que hay en el canal es alto. En las situaciones en las que se dispone de un canal multitrayecto sin apenas ruido existente la estimación realizada es tan eficiente que permite prácticamente la corrección total de las variaciones surgidas. [18], [16]

- Paralelo Serie: La matriz de símbolos se convierte en un vector lineal siguiendo el proceso inverso realizado en el conversor S/P del transmisor y quitando las posiciones de las señales piloto, además de las frecuencias no usadas.
- Demodulador: Los símbolos llegan al demodulador donde mediante las regiones de decisión correspondientes se determina cuáles son sus bits correspondientes.

2.2. Capa física de la red LTE y su relación con el parámetro PCI

Una de las principales características que poseen los sistemas de última generación, como LTE, es la tecnología que implementan a nivel físico, ya que permite utilizar de forma más eficiente los recursos radio disponibles en comparación a los sistemas previos. LTE utiliza las técnicas de acceso múltiple OFDMA y SC-FDMA para los enlaces descendente (downlink) y ascendente (uplink) respectivamente, ambas basadas en la técnica de transmisión OFDM.[14]

La capa física en LTE se caracteriza por el principio básico de diseño de no reserva de recursos para ningún usuario: El uso de los recursos está basado única y exclusivamente en una asignación dinámica de recursos compartidos. Por lo tanto, un sistema mínimamente competitivo necesita un protocolo eficiente en esta capa física para asegurar un buen funcionamiento pasando por la capa de aplicación hasta la experiencia final del usuario. Para ello, se adopta una arquitectura con los mínimos nodos involucrados posibles, para reducir latencias y mejorar por tanto el funcionamiento. Es por ello, que la naturaleza dinámica de la interfaz radio así como el control de asignación de recursos se localiza en la estación base, es decir, muy cerca de la interfaz radio. De ahora en adelante, se usarán los términos fijados por el 3GPP para las estaciones base eNodeB (evolved NodeB) y del mismo modo UE (User Equipment) para terminales móviles. [5], [8], [13]

En el tiempo, a nivel de capa física, vease figura 2.4, la trama LTE tiene una duración de 10 ms dividida en 10 subtramas de 1 ms cada una. Cada subtrama se

divide en 2 segmentos conocidos como slots, cada uno de 0.5 ms. Hasta aquí se tiene una configuración invariable independiente del tipo de sistema, configuración de los canales, número de antenas, etc. Cada slot esta compuesto por 7 simbolos (la unidad de recurso mas pequeña en LTE) los cuales se encargan de llevar los bits de información. La cantidad de datos que transportan dependerá de la modulación que adopte el sistema. [10], [4]

En la frecuencia, vease figura 2.4, cada portadora tiene un ancho de banda típico de 15 KHz. Como se aprecia en la imagen, cada 12 portadoras (12 * 15 KHz = 180 KHz) en conjunto con 1 slot (7 simbolos en el eje del tiempo) forman un Bloque de recursos físicos (PRB, en ingles Physical Resource Block). A medida que se aumenta el ancho de banda aumenta el número de PRB, tal como se describe en la tabla 2.1, y son estos PRB los recursos de radio que se asignan a cada usuario de manera dedicada y/o compartida. [10], [4]

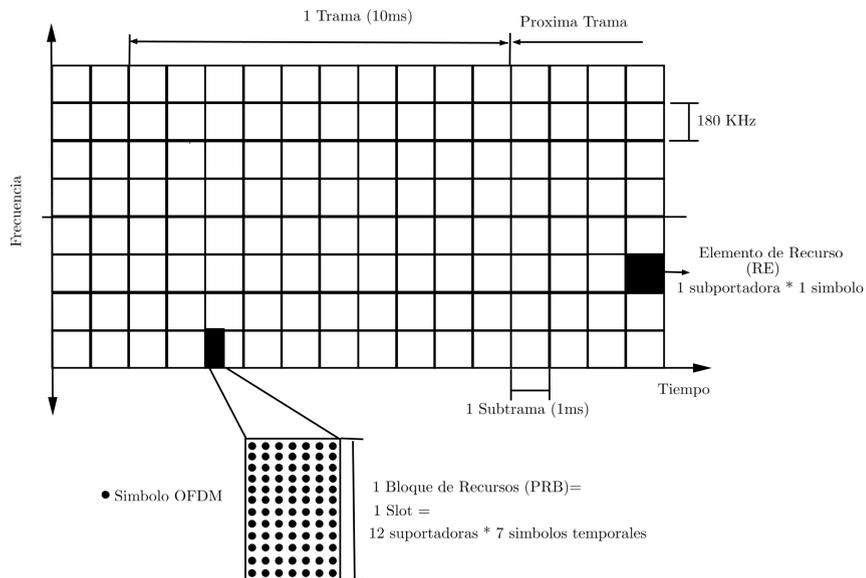


Figura 2.4: Estructura de un PRB.

Tabla 2.2: Número de PRBs en función de la canalización (Fuente: Sallent [14])

Ancho de Banda	1,4MHZ	3MHZ	5MHZ	10MHZ	15MHZ	20MHZ
Numero de PRB	6	15	25	50	75	100

Hay que subrayar que el número de subportadoras disponibles y el número de PRB están relacionados. En efecto el número de subportadoras es 12 veces el número de PRBs más una, ya que hay que considerar que la subportadora central (ó subportadora DC) de la banda disponible no se utiliza para transmitir información. La subportadora DC se utiliza para facilitar los mecanismos de ajuste y sincronización en frecuencia del receptor. [10]

Ya que en un bloque de recursos físicos (PRB) disponemos de 7 símbolos con 12 subportadoras asociadas a cada uno de ellos, tenemos en total 84 recursos disponibles en donde ubicar los símbolos QPSK, 16QAM o 64 QAM.[10]

2.2.1. Prefijo cíclico (CP)

Un prefijo cíclico es, como su propio nombre indica, una parte del símbolo que se repite adrede al principio de cada símbolo. Esto se hace, debido al multitrayecto, la duración del símbolo puede alargarse y llegar a ocupar parte del tiempo de otro símbolo y al muestrear el símbolo deseado, no se muestreará completamente y sí parte del anterior como aparece en la figura 2.5. [11]

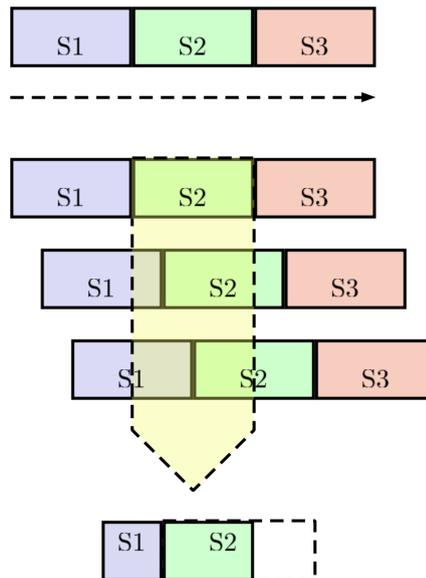


Figura 2.5: Desplazamiento de símbolos sin prefijo cíclico por multitrayecto. (Fuente: David [11])

El tamaño de este prefijo cíclico vendrá dado por lo tanto, por la probabilidad de encontrarnos multitrayectos y el retraso que éstos supondrán en nuestros símbolos. De esta forma, para ciudades densas con grandes edificios, se utiliza un prefijo cíclico extendido por la cantidad de multitrayectos que eso supone y el retraso mayor en los símbolos. Ver figura 2.6. [11], [17]

La duración de ambos es la siguiente:

- Prefijo cíclico normal: Con una duración de 4.7 microsegundos, se utiliza en estructuras de 7 símbolos por slot y equivale a 144 muestras para los símbolos del 1 al 6 y una duración de 5.2 microsegundos que equivale a 160 muestras para el símbolo 0.
- Prefijo cíclico extendido: Con una duración de 16.167 microsegundos, se utiliza en estructuras de 6 símbolos por slot

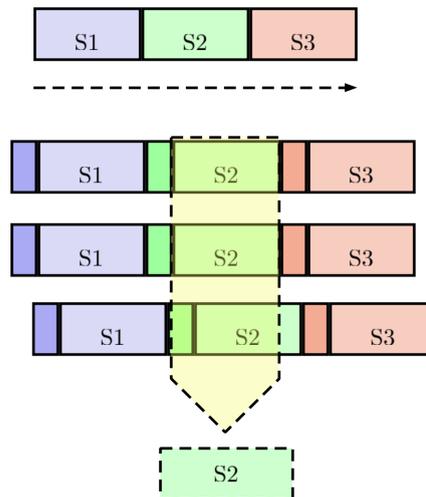


Figura 2.6: Desplazamiento de símbolos con prefijo cíclico por multitrayecto.
(Fuente: David [11])

2.2.2. Estructura de la trama

En el dominio temporal para los sistemas que utilizan sistemas de duplexado por división de frecuencia (FDD), el eje temporal se divide en tramas de 10 ms. Cada

trama a su vez está compuesta por 20 ranuras temporales (Slots o TS) de duración 0,5 ms.

Se define una unidad básica de recursos, formada por dos slots denominada subtrama de duración 1 ms. En cada slot se transmiten 6 ó 7 símbolos OFDM cada uno de ellos de duración $T_s = 66,7 \mu s$. En el caso de utilizar 7 símbolos, el Prefijo Cíclico (CP), será el prefijo cíclico normal, teniendo una duración de $4,7 \mu s$, salvo para el primer símbolo que tiene un prefijo cíclico de $5,2 \mu s$. Si se utilizan 6 símbolos por slot entonces el prefijo cíclico, será el prefijo cíclico largo, con una duración de $16,67 \mu s$. Normalmente en celdas muy grandes se utiliza una estructura de 6 símbolos por slot ya que los retardos de propagación pueden llegar a ser de algunos μs , lo que requiere un mayor prefijo cíclico para compensar la propagación multicamino. [10], [14]

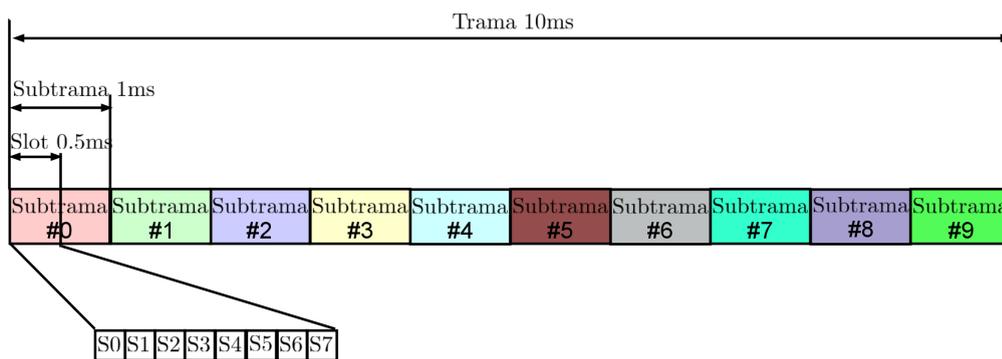


Figura 2.7: Estructura de la trama. (Fuente: Sallent [14])

Los usuarios se ubican en determinadas subportadoras, siguiendo la estructura de un PRB, por un intervalo de tiempo preestablecido, que se determina de forma dinámica por el gestor de recursos radio (scheduler). La mínima granularidad temporal en la asignación de recursos es de 1 ms, es decir una subtrama.

2.2.3. Physical Cell ID (PCI)

El Identificador físico de celda también denotado PCI tal como su nombre lo dice, es el identificador de cada celda en el contexto RF. El estándar de la 3GPP establece

un total de 504 secuencias distintas por las señales de sincronización secundaria (S-SCH). Estas 504 secuencias distintas están agrupadas en 168 grupos de tres secuencias, dichos grupos están identificados por medio de las señales de sincronización primaria (P-SCH), donde cada grupo corresponde a una identidad de un emplazamiento (eNB) distinto. Cada celda LTE tiene asignado uno de estos valores, el cual es utilizado por el móvil para identificarla y así poder diferenciarla de las celdas vecinas. [5], [12], [19]

2.2.4. Sincronización en LTE

Cuando un dispositivo móvil se enciende, su primera tarea desde un punto de vista de radio es buscar una red adecuada y luego intentar registrarse en ella. Para acortar el proceso de búsqueda, los dispositivos móviles almacenan los parámetros de la última celda en la tarjeta SIM antes de apagarse. Después de que el dispositivo se enciende, puede ir directamente a su registro y utilizar los últimos parámetros celulares conocidos para ver si esa última celda todavía se puede encontrar. Esto es válido cuando el dispositivo móvil no se ha llevado a otro lugar mientras ha estado apagado. En caso de que la celda anterior no se encontrara con la información almacenada en la tarjeta SIM o si la tarjeta SIM no contiene información acerca de la última celda utilizada, el dispositivo móvil realiza una búsqueda y sincronización completa. [11]

A la hora de tratar de sincronizarse a una celda LTE, primero el dispositivo móvil busca las bandas de frecuencia soportadas para tratar de recoger una señal de sincronización primaria que se emitira cada 5 milisegundos, es decir, dos veces por trama de interfaz de aire. Una vez encontrado, el dispositivo esta sincronizado a nivel de símbolo y permanece en el canal hasta localizar la señal de sincronización secundaria, que también se emite una vez cada 5 milisegundos. Aunque el contenido de la P-SCH es siempre el mismo para una misma celda, el contenido de la S-SCH se alterna cuando se envía en el slot 0 o en el slot 10, de modo que el dispositivo móvil puede detectar a partir del patrón, dónde encontrar el comienzo de la trama según dónde empiece la secuencia S-SCH. Es decir, con la P-SCH se sincroniza a

nivel de símbolo y después, una vez conocida la P-SCH puede detectar la S-SCH y así conocer el PCI de la celda. Una vez conocido el PCI, tiene la información suficiente sobre la localización de los parámetros usados para las señales de referencia del canal de bajada. [11], [14], [20]

Las señales transmitidas desde las diferentes celdas en un área de cobertura común, como es obvio, interfieren entre sí. Dos de los problemas mas comunes dentro de la red LTE son los causados por confusión o colisión, pertenecientes a la mala asignación del parámetro PCI dentro de la red. La colisión se produce cuando dos celdas que utilizan una misma frecuencia utilizan un valor de PCI idéntico. En este caso, el dispositivo móvil, cuando se encuentra en el área de superposición de las dos celdas, no puede implementar mecanismos de sincronización, ya que recibe la misma potencia de ambos eNB. Por otra parte, cuando se hace referencias a la confusión, existirá cuando dentro de un grupo de por lo menos tres celdas, dos de ellas tienen el mismo valor de PCI asignado. Lo antes expuesto se muestra en la figura 2.8. En conclusión, hay dos cosas que se necesitan para tener en cuenta que la red está libre de colisión y confusión de PCI. Red libre de colisión de PCI significa que dos celdas que están adyacentes entre sí no tienen el mismo PCI y red libre de confusión de PCI significa que la celda debe no tener vecino con el mismo PCI. [21]

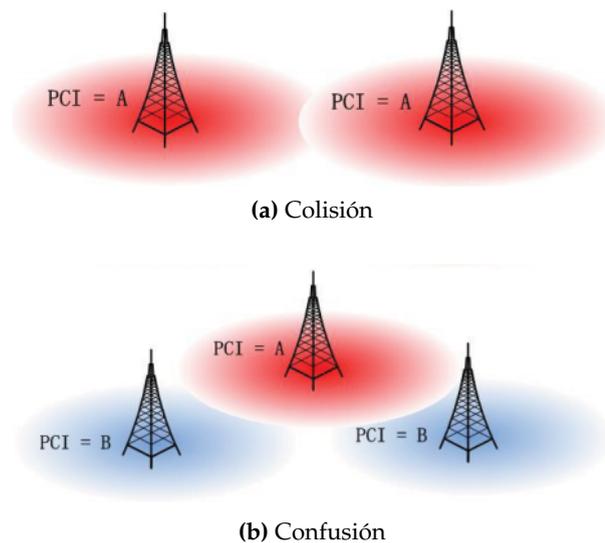


Figura 2.8: Problemas generadores de interferencia. (Fuente: Jingjie Yu [21])

Después de un procedimiento de conexión exitoso, en el mecanismo de reelección de celda o un handover (traspaso de celda) se asegurará de que el dispositivo móvil utilice la celda con la señal más alta recibida.

2.2.4.1. Señal de Sincronización Primaria (P-SCH):

Permite la sincronización temporal a nivel de subtrama, slot y símbolo, mediante procedimientos de correlación entre la señal recibida y una secuencia de referencia almacenada en el receptor. Mediante esta secuencia se determina el parámetro $N_{ID}^{(2)}$, el cual es parte del parámetro PCI.

La señal P-SCH se genera a partir de una secuencia de Zadoff-Chu. Son secuencias no binarias de amplitud unidad y de longitud 63 a la que se le ha eliminado el elemento central o portadora DC (por lo tanto sólo se transmiten 62 símbolos de dicha secuencia). Para separar esta señal de otras señales transmitidas utilizando el resto de subportadoras, se dejan 5 subportadoras vacías a su izquierda y derecha, que actúan como bandas de guarda. Es por ello que en algunos casos dice que la señal P-SCH ocupa 72 subportadoras, como lo indica la 2.9. [10], [14]

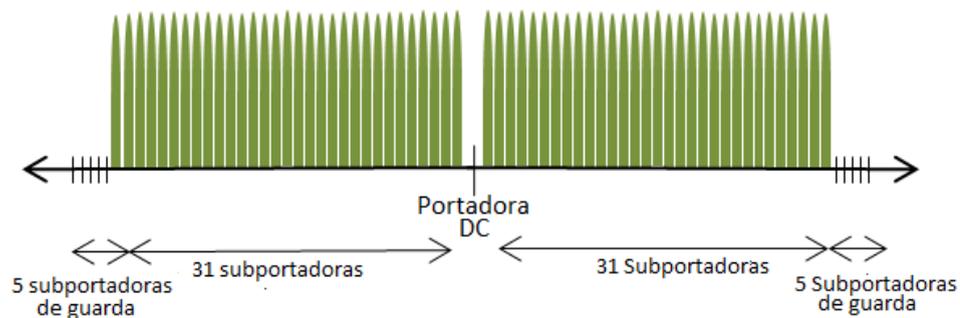


Figura 2.9: Estructura de la Señal de Sincronización Primaria.

Para el caso del sistema LTE existirán solo 3 posibles secuencias diferentes, las cuales dependerán del índice raíz que se escoja para dicha celda, con esto se define a la vez el $N_{ID}^{(2)}$ que la celda utilizara para formar el PCI.

A nivel temporal se mapea en los símbolos OFDM #6 de las subtramas #0 y #5. La secuencia elegida se caracteriza por tener muy buenas propiedades de correlación y ser muy robusta frente a derivas (offsets) en frecuencia, lo que facilita la sincronización temporal inicial del sistema. [4]

Para construir las secuencias Zadoff-Chu, según el propio estándar de 3GPP hay que utilizar la siguiente expresión:

$$d_u(n) = \begin{cases} e^{-j \frac{\pi u n(n+1)}{63}}, & \text{si } n = 0,1,\dots,30 \\ e^{-j \frac{\pi u (n+1)(n+2)}{63}} & \text{si } n = 31,32,\dots,61 \end{cases} \quad (2.3)$$

Unas secuencias Zadoff-Chu se distinguen de otras por la raíz "u" que se escoge y que, como se puede ver, tienen una longitud $N=62$ elementos. Según el estándar 3GPP, las raíces escogidas para las tres secuencias de la señal P-SCH son las raíces 25, 29 y 34. Con respecto a la elección de raíces, cabe destacar que se utilizó un criterio de optimización para minimizar la complejidad numérica en el receptor desde el punto de vista de la implementación. Es por eso que se escogió el par de raíces 29-34 que son complejas conjugadas. [5], [8], [14]

Basándonos en la raíz de la P-SCH, se determinará uno de los parámetros necesarios para la identificación del PCI, el $N_{ID}^{(2)}$.

Tabla 2.3: Valor de $N_{ID}^{(2)}$ en función del índice raíz u. (Fuente: *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation. TS 36.211 version 11.4.0 Release 11.* [12])

$N_{ID}^{(2)}$	Índice Raíz u
0	25
1	29
2	34

2.2.4.2. Señal de Sincronización Secundaria (S-SCH):

Permite la sincronización temporal a nivel de trama, utilizando la misma metodología de correlación temporal. Mediante las S-SCH se logra determinar el pa-

rametro $N_{ID}^{(1)}$, el cual es parte del parámetro PCI. Utiliza m-sequences (registros de corrimiento binarios). Cada secuencia secundaria de sincronización se obtiene como resultado de entrelazar, en el dominio de la frecuencia, una secuencia de máxima longitud de longitud 31 y su correspondiente versión desplazada cíclicamente como se muestra en la figura 2.10.

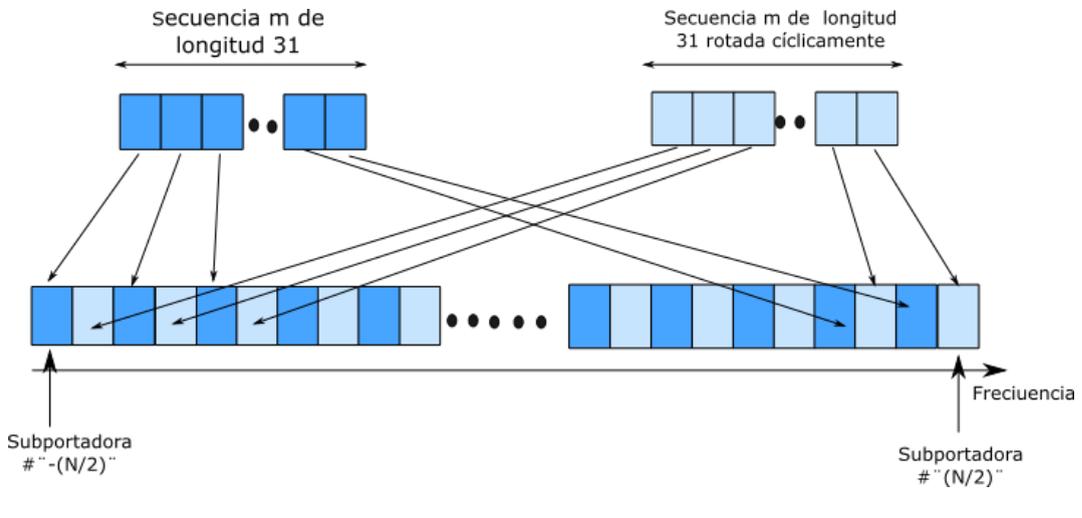


Figura 2.10: Estructura de la Señal de Sincronización Secundaria. (Fuente: Sallent [14])

Como en el caso de la P-SCH, la señal S-SCH también se transmite utilizando 72 subportadoras centrales. Además para facilitar la sincronización temporal a nivel de trama, la señal secundaria se transmite dos veces por trama, símbolos OFDM #5 de las subtramas #0 y #5. En el caso de la secuencia asignada al segundo símbolo, los papeles de las secuencias de máxima longitud están intercambiados, es decir, los símbolos de la secuencia de máxima longitud original ocupan ahora las posiciones pares y los símbolos asociados a la secuencia rotada cíclicamente las posiciones impares de la secuencia de 62 símbolos. [12], [14], [13]

Esta secuencia no es del mismo tipo que la P-SCH, porque para detectarla ya no se va a ciegas, sino que se conoce la P-SCH y esto nos da una ventaja grande ya que se está sincronizado a nivel de símbolo y se sabe dónde encontrar la S-SCH, por lo que está diseñada para albergar mucha más información.

Según lo descrito por la 3GPP la secuencia de sincronización secundaria es ge-

nerada por una concatenación de dos secuencias binarias de longitud 31. La secuencia de concatenación es barajada con una secuencia scrambling dada por la P-SCH en el $N_{ID}^{(2)}$. La combinación de las dos secuencias diferirán entre el slot 0 y el slot 10 de la siguiente forma: [5]

$$d(2n) = \begin{cases} s_0^{(m_0)}(n)c_0(n) & \text{en la subtrama 0} \\ s_1^{(m_1)}(n)c_0(n) & \text{en la subtrama 5} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$d(2n+1) = \begin{cases} s_1^{(m_1)}(n)c_1(n)z_1^{(m_0)}(n) & \text{en la subtrama 0} \\ s_0^{(m_0)}(n)c_1(n)z_1^{(m_1)}(n) & \text{en la subtrama 5} \end{cases} \quad (2.5)$$

Donde $0 \leq n \leq 30$. Los índices m_0 y m_1 vienen del grupo de la identidad de la celda de la capa física $N_{ID}^{(1)}$ tal que:

$$m_0 = m' \bmod 31 \quad (2.6)$$

$$m_1 = (m_0 + \lfloor m'/31 \rfloor + 1) \bmod 31 \quad (2.7)$$

$$m' = N_{ID}^{(1)} + q(q+1)/2, q = \lfloor \frac{N_{ID}^{(1)} + q'(q'+1)/2}{30} \rfloor, q' = \lfloor N_{ID}^{(1)}/30 \rfloor \quad (2.8)$$

Las dos secuencias $s_0^{(m_0)}(n)$ y $s_1^{(m_1)}(n)$ se definen como dos diferentes secuencias cíclicas de la secuencia $\tilde{s}(n)$:

$$s_0^{(m_0)}(n) = \tilde{s}((n + m_0) \bmod 31) \quad (2.9)$$

$$s_1^{(m_1)}(n) = \tilde{s}((n + m_1) \bmod 31) \quad (2.10)$$

Donde $\tilde{s}(i) = 1 - 2x(i)$, $0 \leq i \leq 30$ se define por:

$$x(\bar{i} + 5) = (x(\bar{i} + 2) + x(\bar{i})) \bmod 2, 0 \leq \bar{i} \leq 25 \quad (2.11)$$

Con las condiciones iniciales $x(0)=0$, $x(1)=0$, $x(2)=0$, $x(3)=0$, $x(4)=1$.

Las dos secuencias de scrambling $c_0(n)$ y $c_1(n)$ dependen de la P-SCH y se define por dos secuencias cíclicas distintas de la secuencia m de acuerdo $\tilde{c}(n)$ con:

$$c_0(n) = \tilde{c}((n + N_{ID}^{(2)}) \bmod 31) \quad (2.12)$$

$$c_1(n) = \tilde{c}((n + N_{ID}^{(2)} + 3) \bmod 31) \quad (2.13)$$

Donde $N_{ID}^{(2)} \in \{0,1,2\}$ forma la identidad de la capa física conjunto con el $N_{ID}^{(1)}$ y $\tilde{c}(i) = 1 - 2x(i)$, $0 \leq i \leq 30$, que es definido como:

$$x(\bar{i} + 5) = (x(\bar{i} + 2) + x(\bar{i})) \bmod 2, 0 \leq \bar{i} \leq 25 \quad (2.14)$$

Con las condiciones iniciales $x(0)=0$, $x(1)=0$, $x(2)=0$, $x(3)=0$, $x(4)=1$

Las secuencias scrambling $z_1^{(m1)}(n)$ y $z_1^{(m0)}(n)$ se definen por las secuencias m cíclicas $\tilde{z}(n)$ de acuerdo con:

$$z_1^{(m0)}(n) = \tilde{z}((n + (m_0 \bmod 8)) \bmod 31) \quad (2.15)$$

$$z_1^{(m1)}(n) = \tilde{z}((n + (m_1 \bmod 8)) \bmod 31) \quad (2.16)$$

Donde $\tilde{z}(i) = 1 - 2x(i)$, $0 \leq i \leq 30$, se define por:

$$x(\bar{i} + 5) = (x(\bar{i} + 4) + x(\bar{i} + 2) + x(\bar{i} + 1) + x(\bar{i})) \bmod 2, 0 \leq \bar{i} \leq 25 \quad (2.17)$$

Con las condiciones iniciales $x(0)=0, x(1)=0, x(2)=0, x(3)=0, x(4)=1$.

La secuencia de sincronización secundaria así construida se caracteriza por tener muy buenas propiedades de correlación y ser muy robusta frente a derivas (offsets) en frecuencia. La modulación utilizada en cada subportadora es BPSK. La S-SCH necesita conocer tanto el parámetro $N_{ID}^{(2)}$, correspondiente a la P-SCH, como también el $N_{ID}^{(1)}$ que definirá cuál de las 168 secuencias diferentes se le asignará a esa celda. [15], [8]

De acuerdo con los parámetros definidos anteriormente, el PCI o N_{CELL}^{ID} se calcula como:

$$N_{CELL}^{ID} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)} \quad (2.18)$$

Donde $N_{ID}^{(1)}$ pertenece al grupo de PCIs del 0 al 167 y $N_{ID}^{(2)}$ pertenece al del grupo del 0 al 2. Esto crea un espacio de 504 únicos PCIs.

2.2.5. Señales de referencia (RS):

Las RS son un parámetro de la red el cual es dependiente del valor de PCI asignado a la celda, el cual tiene entre las principales funciones:

- Ser utilizada para la localización inicial de celda y movilidad
- Ser pieza clave para la obtención de medidas de calidad en el enlace descendente.
- Permitir estimar la respuesta impulsional del canal para demodulación / detección coherente

Las RS se ubican en específicos elementos de recursos, los cuales están separados cada seis subportadoras en el dominio de la frecuencia. La subportadora inicial dependerá del parámetro PCI. [14]

La utilización de 2 o mas antenas transmisoras por parte del eNodeB afecta directamente la ubicación física de las RS en la trama LTE, esto se debe a que cada antena transmisora envía la misma información al mismo tiempo con excepción de las RS, es decir, que en cada antena todos los canales fisicos de LTE se transmiten de manera simultanea en cada antena pero las RS utilizan un espacio en el tiempo y frecuencia unico por cada antena.[3], [13]

Como mínimo se necesitan dos señales de referencia por PRB denominadas señales de referencia primaria (RSP). Estas señales de referencia primarias están ubicadas en el primer símbolo OFDM de cada subtrama, ver figura 2.11. Si las condiciones del canal radio lo requieren puede ubicarse un segundo grupo de señales piloto o de referencia, denominadas señales de referencia secundarios (RSS), típicamente situadas en el quinto símbolo OFDM de cada subtrama. [14]

La ubicación de las RS varia únicamente en frecuencia, es decir que la variación del PCI desplaza las RS dentro de las 12 portadoras posibles en el PRB. Dependiendo del tipo de sistema implementado es necesario ejecutar una simple operación matemática que nos permitirá saber si existe colisión entre las RS de distintos sectores. Esta operación se conoce como el modulo del PCI. [20], [22]

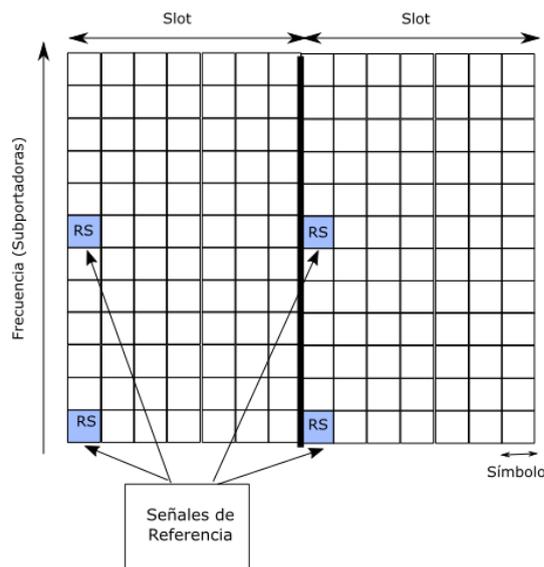


Figura 2.11: Señales de referencia para una unica antena. (Fuente: Sallent [14])

Básicamente se trata de realizar la división del valor del PCI entre el total de posiciones posibles de las RS (3 para sistemas con 2 o 4 antenas transmisoras y 6 para sistemas de 1 antena transmisora) y obtener el residuo de esta operación. Este es el principal factor por el cual las estaciones LTE se componen normalmente de 3 sectores (Asumiendo un sistema con mas de 2 Tx) ya que un 4to sector implicaría interferencia directa de las RS entre 2 celdas con el mismo PCI mod 3 en esa estación.

De igual forma, el uso del PCI mod X es de vital importancia a la hora de realizar la planificación de PCI ya que esto evita que 2 celdas con el mismo PCI mod X compartan una zona de cobertura de lo contrario se pueden obtener efectos muy negativos en la calidad de señal recibida.

La secuencia de símbolos viene dada por:

$$r_{l,n_s}(m) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1-2.c(2m)) + j \frac{1}{\sqrt{2}}(1-2.c(2m+1)), m = 0, 1, \dots, 2N_{RD}^{max,DL} - 1 \quad (2.19)$$

Nótese la dependencia con el parámetro PCI:

$$c_{init} = 2^{10} \cdot (7 \cdot (n_s + 1) + l + 1) \cdot (2 \cdot N_{ID}^{cell} + 1) + 2 \cdot N_{ID}^{cell} + N_{CP} \quad (2.20)$$

Donde n_s es el número de ranura dentro de una trama radio y l es el número de símbolo OFDM dentro de la ranura.

2.2.5.1. Mapeo de las secuencias en la grilla de recursos:

Denotando N_{SC}^{RB} como el número del Resource Block por subportadora, N_{RB}^{DL} el número del Resource Block en el canal descendente y usando 7 símbolos por slot la organización dentro de la grilla de recurso será como la mostrada en la figura 2.12.

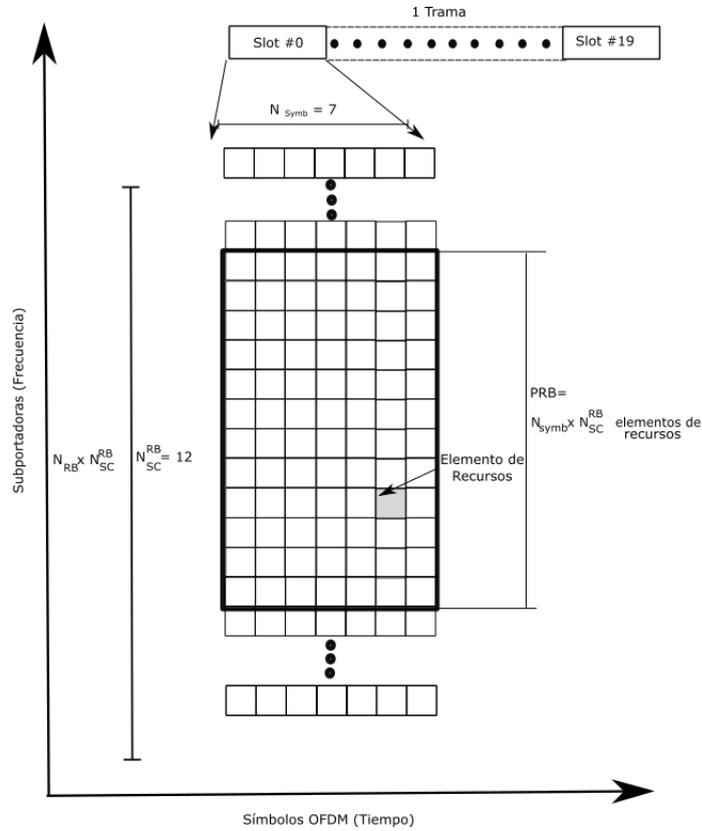


Figura 2.12: Organización frecuencial dentro de la grilla de recursos. (Fuente: Rummey [22])

Las secuencias P-SCH deben ser mapeadas en el grilla de la siguiente manera:

$$k = n - 31 + \frac{N_{RB}^{DL} N_{SC}^{RB}}{2} \tag{2.21}$$

Donde $n = -5, -4, \dots, -1, 62, 63, \dots, 66$

Para estructuras de tipo 1, es decir, para estructuras en FDD, las señales primarias de sincronización se mapean en el último símbolo OFDM de los slots 0 y 10.

Los elementos de recursos (k, l) en los símbolos OFDM usados para la transmi-

sión de la P-SCH son:

$$a_{k,l} = d(n), \quad n = 0, \dots, 61 \quad (2.22)$$

$$k = n - 31 + \frac{N_{RB}^{DL} N_{SC}^{RB}}{2} \quad (2.23)$$

$$k = n - 31 + \frac{N_{RB}^{DL} N_{SC}^{RB}}{2} \quad (2.24)$$

$$n = -5, -4, \dots, -1, 62, 63, \dots, 66$$

Donde, los elementos en las posiciones n , situados a los lados de las frecuencias centrales, están reservados y no se usan para la transmisión de las P-SCH. [15],

En el caso de las secuencias S-SCH, el mapping es bastante similar. Las secuencias S-SCH también irán en mapeadas en mitad de la grilla, es decir, en las frecuencias centrales, como indica el índice k y en el caso de usar una estructura tipo FDD, en el penúltimo símbolo de los slots 0 y 10.

$$a_{k,l} = d(n), \quad n = 0, \dots, 61 \quad (2.25)$$

$$k = n - 31 + \frac{N_{RB}^{DL} N_{SC}^{RB}}{2} \quad (2.26)$$

$$l = \begin{cases} N_{\text{sy mb}}^{DL} - 2 \end{cases} \quad (2.27)$$

en el slot 0 y 10 para la estructura de la trama de tipo 1. Donde:

$$n = -5, -4, \dots, -1, 62, 63, \dots, 66$$

Donde los valores de n que no son usados para la P-SCH se reservan y no se usan para tal fin. [11]

2.3. Modelos de canal según la estandarización de la 3GPP, involucrados en la asignación del parámetro PCI

Pese a los beneficios que nos proporcionan las comunicaciones inalámbricas hay que tener en cuenta una restricción muy importante (además de otras a tener en cuenta como las pérdidas de propagación) que aparece debido a la gran cantidad de obstáculos presentes en el canal: el multitrayecto, el cual provoca diversidad en la respuesta en frecuencia del canal y una respuesta al impulso dispersiva. Además si hay diferencia de velocidad entre el transmisor y el receptor, como es el caso de los canales inalámbricos móviles, el efecto Doppler provoca que la respuesta al impulso y la respuesta en frecuencia sean variables con el tiempo. Por lo tanto, es de suma importancia la incorporación de modelos de canales reales estipulados por los organismos pertinentes en las telecomunicaciones, para ser apreciadas las modificaciones y cambios ocurridos una vez que son incorporados los modelos de canales inalámbricos.

En el caso de LTE, la antena del transmisor radia una onda electromagnética modulada mediante un esquema digital, OFDMA o SCFDMA. En esa onda se envía todos los parámetros de localización necesarios, como el valor de PCI, para que el dispositivo móvil pueda sincronizarse con la estación base. La onda electromagnética se propagará por el medio de transmisión hasta llegar a la antena receptora.

En el contexto real hay que tener en cuenta dos tipos de pérdidas de potencia o nivel en la señal recibida en función de la distancia (o del tiempo si es un canal móvil). Dichas pérdidas o variaciones de potencia se conocen como desvanecimientos a largo plazo y desvanecimientos a corto plazo, apareciendo como consecuencia de las características no ideales del canal que a continuación se introducen. [23], [13]

Debido a la presencia de obstáculos, cuando una onda electromagnética incide sobre una superficie uniforme de dimensiones muy superiores a su longitud de on-

da, (montañas, suelo, bosques, vallas publicitarias o bloques de edificios) parte de su potencia se refleja (multitrayecto) y otra se transmite atenuada (bloqueo). Además, si la superficie presenta irregularidades en los bordes como las montañas o los edificios, parte de la onda se difractará, propagándose hasta el receptor aunque su primera zona de Fresnel se vea bloqueada (shadowing). Por otra parte, cuando la onda electromagnética incide sobre un obstáculo irregular de grandes dimensiones o sobre un obstáculo del orden de su longitud de onda, la onda se dispersa en todas direcciones (scattering). Esto ocurre con los árboles, las farolas o las señales de tráfico. [23]

Téngase en cuenta que a estos defectos del canal, hay que añadir el ruido aditivo generado por las interferencias o el ruido térmico en el receptor y que se modela como un sumando AWGN (Additive White Gaussian Noise).

2.3.1. Desplazamiento Doppler

El efecto de la variación rápida del nivel de potencia de la señal recibida en el dominio del tiempo se explica desde el punto de vista de la frecuencia, al producirse el conocido como efecto Doppler, cuando el transmisor y/o el receptor están en movimiento.

El efecto Doppler consiste en el desplazamiento del espectro de una señal recibida debido a la diferencia de velocidades entre transmisor y receptor. Este efecto se mide mediante una magnitud conocida como desplazamiento Doppler que viene dada por: [24]

$$v = v_{\max} \cos \alpha = \frac{v}{V_{\text{prop}}} f_o \cos \alpha \sim \frac{1}{1080} \frac{f_o}{\text{MHz}} \frac{v}{\text{km/h}} \cos \alpha \text{Hz} \quad (2.28)$$

Donde α es el ángulo entre la dirección de la señal recibida y la dirección de movimiento del receptor que se define en el intervalo $[0 \pi]$, v_{\max} es el desplazamiento Doppler máximo (se produce cuando $\alpha = 0$ ó π), v es la diferencia de velocidades entre transmisor y receptor, f_o la frecuencia de portadora y v_{prop} es la velocidad

de propagación de la onda electromagnética por el medio de transmisión, que suele tomarse como c , suponiendo que el medio es el vacío. [24]

2.3.2. Modelos del canal en LTE

Los modelos de canal utilizados para LTE están definidos en el 3GPP TS 36.104, donde se especifica la condición de prueba. Los productos cubiertos incluyen multipath, fading, y la velocidad de movimiento del terminal. En LTE se suelen utilizar los modelos EPA (Extended Pedestrian A) entorno de propagación bajo con frecuencia Doppler máxima de 5Hz, EVA (Extended Vehicular A) entorno de propagación medio con frecuencia Doppler máxima de 5 y 70 Hz y ETU (Extended Typical Urban) entorno de propagación alto con frecuencia Doppler máxima de 70 y 300 Hz. [25]

En las siguientes tablas se presenta los modelos típicos expuestos por la 3GPP para las variaciones de la potencia recibida de multipath fading bajo condiciones de retardo de dispersión EPA, EVA y ETU:

Tabla 2.4: Variaciones de la potencia recibida de multipath fading bajo condiciones de retardo de dispersión EPA. (Fuente: LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception. TS 36.104 version 11.2.0 Release 11. [25])

Retardo ns	Potencia Relativa dB
0	0.0
30	-1.0
70	-2.0
90	-3.0
110	-8.0
190	-17.2
410	-20.8

Tabla 2.5: Variaciones de la potencia recibida de multipath fading bajo condiciones de retardo de dispersión EVA. (Fuente: *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception. TS 36.104 version 11.2.0 Release 11.* [25])

Retardo ns	Potencia Relativa dB
0	0.0
30	-1.5
150	-1.4
310	-3.6
370	-0.6
710	-9.1
1090	-7.0
1730	-12.0
2510	-16.9

Tabla 2.6: Variaciones de la potencia recibida de multipath fading bajo condiciones de retardo de dispersión ETU (Fuente: *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception. TS 36.104 version 11.2.0 Release 11.* [25])

Retardo ns	Potencia Relativa dB
0	-1.0
50	-1.0
120	-1.0
200	0.0
230	0.0
500	0.0
1600	-3.0
2300	-5.0
5000	-7.0

Capítulo III

Procedimientos de la investigación

3.1. Fases de la investigación

Cumpliendo los objetivos propuestos en el Capítulo I, se planteó un procedimiento el cual fué dividido en diferentes niveles jerárquicos para su mayor entendimiento. Se presenta la figura 3.1, la cual enfatiza en forma de fases los estudios realizados. Por otra parte, el diagrama de la figura 3.2 muestra el análisis específico para el parámetro PCI, enfocado en los puntos de interés a estudiar. Se hará referencia al diagrama anterior cuando se necesite profundizar.

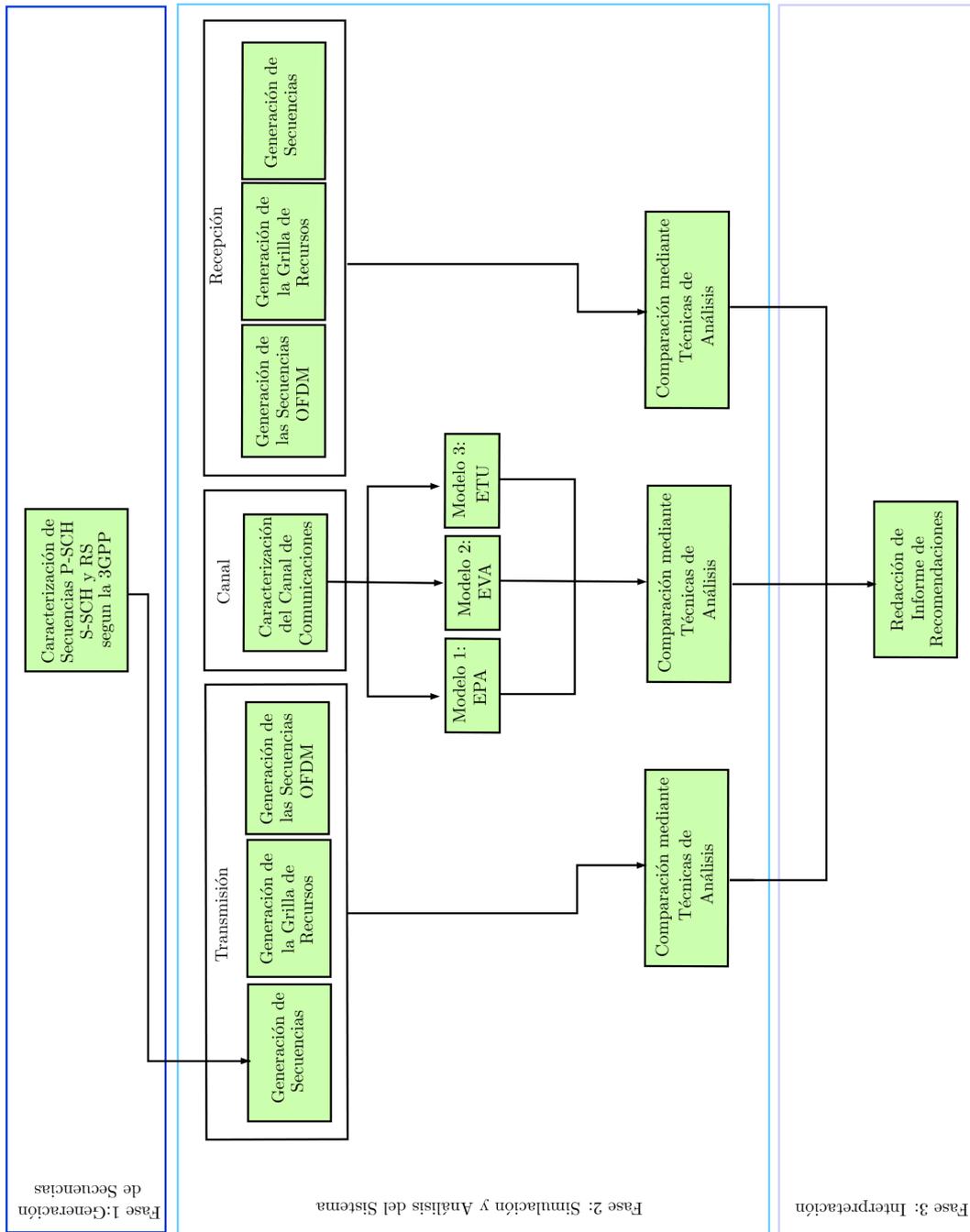


Figura 3.1: Metodología técnica de análisis de PCI.

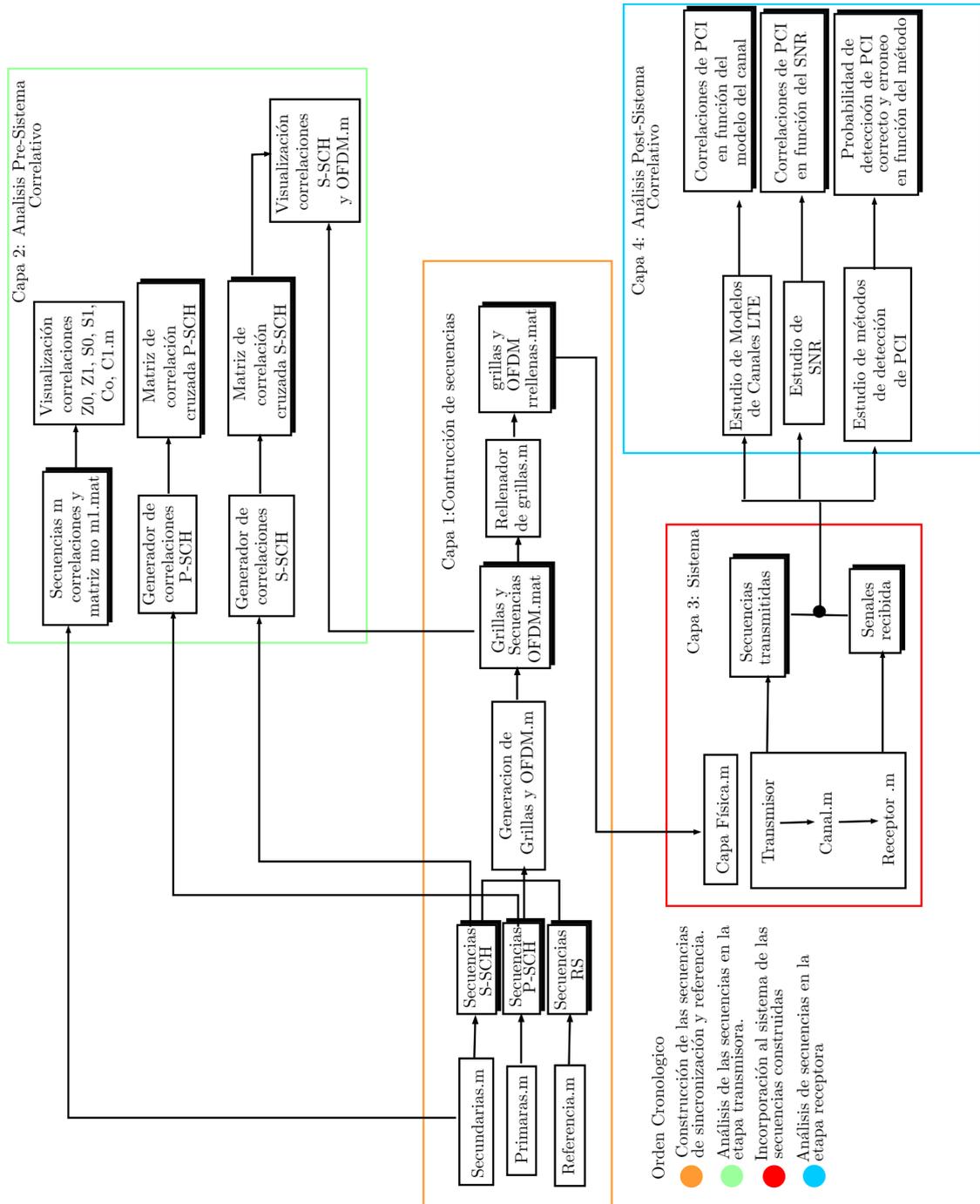


Figura 3.2: Diagrama del metodo de análisis para el parámetro PCI.

3.1.1. Fase 1: Caracterización de Secuencias.

En esta fase fue relevante el estudio y comparación de diversos softwares para la simulación de la capa física de la red LTE. El entorno elegido fue el de Matlab, debido a que otros software, a pesar de poseer comandos o bloques que hacían referencia al entorno físico de la red, no ofrecían la oportunidad de variar parámetros, a nivel de detalle, que eran de relevancia para el estudio propuesto.

Se abordó todo lo relacionado con la revisión y caracterización del estándar estipulado por la 3GPP para la elaboración de las secuencias de sincronización y referencia de la red LTE en su capa física.

Fueron simuladas, según el estándar, 3GPP TS 36.211 2014 Physical channels and modulation, las P-SCH, S-SCH y RS, como se representa en las figuras 3.3, 3.4 y 3.5. Las mismas fueron secuencias matriciales creadas en los ficheros de Matlab para todos los posibles valores de PCI asignable los cuales serán valores conocidos como la identidad de la celda física de un eNB. [12]

Lo antes mencionado se refleja como el inicio de la **Capa 1** de la figura 3.2, donde se generan en los diferentes ficheros del software Matlab, las secuencias base definidas por el estándar para ser luego anexadas de forma matricial al sistema.

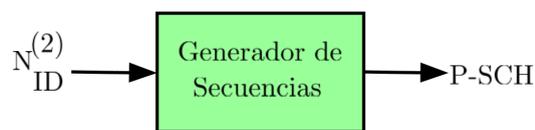


Figura 3.3: Relación del generador de secuencias para las P-SCH.

3.1.2. Fase 2: Simulación y análisis del sistema.

Se relaciona a esta fase, la caracterización del estándar estipulado por la 3GPP para la elaboración del esquema de la capa física de la red LTE, a partir de las secuencias de sincronización y referencia, las cuales son de vital importancia para la

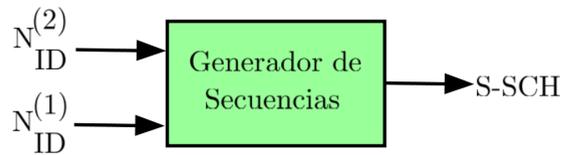


Figura 3.4: Relación del generador de secuencias para las S-SCH.

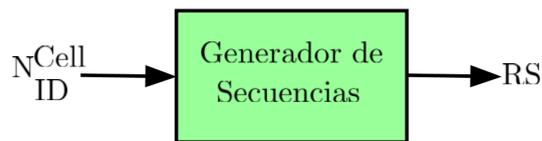


Figura 3.5: Relación del generador de secuencias para las RS.

ubicación del móvil. Posteriormente se introdujo un canal con perturbaciones evaluando el rendimiento mediante simulaciones de pruebas para luego ser sometidas a comparaciones en sus etapas de transmisión y recepción.

3.1.2.1. Transmisor

Una vez tomadas las secuencias P-SCH, S-SCH y RS de la fase anterior, donde fueron caracterizadas, dichas secuencias se dispusieron hacer mapeadas en los elementos de recursos adecuados en la grilla, tal y como se muestra dentro de la **Capa 1** de la figura 3.2. Las casillas vacías fueron rellenas con símbolos que asemejaban la data en forma de elementos con modulación QPSK. Los archivos *grillas y secuencias OFDM.mat* y *grillas y OFDM rellenas.mat* muestran lo explicado anteriormente y mediante estos se pudo observar de forma gráfica en tiempo y frecuencia los recursos de radio.

La configuración básica para el sistema LTE estudiado fue: canal en descenso, sistema FDD, ancho de banda igual a 1.4MHz, cantidad de antenas transmisoras igual a 1, prefijo cíclico normal y 14 símbolos por subtrama.

Por utilizar una única antena transmisora se duplica la cantidad de espacios para ubicar las RS ya que no existe una antena alterna. Fue realizada la operación matemática resto de PCI para saber cuántas posiciones posibles se pueden desplazar las RS sin colisionar entre sí.

$$V_{\text{shift}} = \text{PCI} \bmod 6 \quad (3.1)$$

Posteriormente, se obtuvo la grilla de recursos para un valor de PCI evaluado, se tomó para un número de puntos de la IFFT concreto e igual a 128, agrupándose en símbolos OFDM de esa longitud, y haciendo la antitransformada de cada uno de ellos. Fue añadido el prefijo cíclico a cada símbolo de tamaño 10 para el primer símbolo y de tamaño 9 para el resto de los símbolos y posteriormente incorporado un convertidor paralelo-serie. De esta forma la señal ya se encontraba lista para ser transmitidas por el canal de comunicaciones. Los archivos *grillas y secuencias OFDM.mat* y *grillas y OFDM rellenas.mat*, descritos en la **Capa 1** de la figura 3.2, muestran lo explicado anteriormente, mediante estos se pudo observar de forma gráfica las señales enviadas, emulando las señales transmitidas por el eNB y que serán recibidas por el dispositivo móvil una vez que pasaron por el canal.

En el análisis realizado fueron evaluadas y analizadas las secuencias P-SCH, S-SCH y RS, tal como se muestra en la **Capa 2** de la figura 3.2, generando matrices de correlaciones cruzadas donde se observaron las similitudes existentes entre dos valores de PCI. Un alto valor de correlación nos da la idea de los PCI que pueden prestarse a confusión. El objetivo de dicho estudio fue la evaluación del impacto asociado a la asignación de un valor de PCI cuando ya ha sido asignado otro valor a un eNB en sus cercanías. Por otro lado, como parte del estudio, fueron desglosadas las secuencias S-SCH en sus respectivas secuencias cíclicas m.

3.1.2.2. Canal

En la etapa de canal se realiza la simulación de los efectos del canal radio cuando la señal OFDM se propaga a través de él. Los modelos de canal utilizados para LTE

están definidos en el 3GPP TS 36.104, donde están modelados los canales físicos de comunicaciones típicos en un sistema LTE. [25]

Téngase en cuenta que a estos defectos del canal, hubo que añadirle el ruido gaussiano generado por las interferencias o el ruido térmico en el receptor y que fue modelado como un canal AWGN (Additive White Gaussian Noise), este, por ser uno de los modelos matemáticos más simples para varios canales físicos de comunicaciones. Los modelos antes mencionados y su respectivo ruido aditivo se encuentran descritos en la **Capa 3** de la figura 3.2 constituyendo el canal establecido para la red.

El canal del sistema LTE simulado fue enmarcado bajo las consideraciones de los modelos establecidos por el estándar, donde se describen las distintas variaciones del canal de comunicaciones, que incluyen, multipath, fading, y la velocidad de movimiento del terminal. Fueron estudiadas las condiciones de propagación que se utilizan para medir el rendimiento en multipath fading para un rango de frecuencias Doppler, siendo los casos evaluados los mostrados a continuación:

Tabla 3.1: Modelos de canales con las variaciones del efecto Doppler utilizadas.

Modelo	Caso 1	Caso 2
EPA	5Hz	-
EVA	5Hz	70Hz
ETU	70Hz	300Hz

3.1.2.3. Receptor

Una vez que la señal fue pasada por los canales de comunicaciones establecidos, la información llega al receptor donde se procedió a la eliminación del prefijo cíclico. La señal fue finalmente demodulada por la técnica QPSK, elegida en la etapa transmisora, determinando los elementos correspondientes.

Los elementos son colocados y ordenados dentro de la grilla de recursos donde son mapeados por el dispositivo móvil en busca de su sincronización, en tiempo y frecuencia, a nivel de capa física con el eNB de la celda más cercana a la que desea

conectarse, sincronizándose a nivel de trama y subtrama. A partir de la P-SCH, se pudo detectar la posición temporal de la señal, y por consiguiente, el valor $N_{ID}^{(2)}$. Posteriormente, como la señal secundaria se detecta siempre después de la señal de sincronización primaria, se logró identificar cuál de las 168 posibles secuencias que definen la identidad de la celda (Cell-ID) fue la utilizada.

Una vez obtenida la data recibida, fue analizada tal como se describe En la **Capa 4** de la figura 3.2, donde se hace referencia al análisis post sistema. Se estudiaron diversos tópicos que fueron fuente de información para generar comparaciones específicas respecto a la sincronización en la etapa receptora por parte del equipo de usuario. Los estudios realizados en esta capa fueron los siguientes:

- Se varió el valor de la relación señal ruido (SNR), siendo el cociente entre la potencia de la señal y la potencia del ruido en dB. Se tomaron valores de SNR iguales a 1dB, 5dB, 10dB y 15dB. Fue simulada la capa física de la red LTE para cada modelo de canal, cada condición de frecuencia doppler especificada y tantas veces como valor de SNR se sometieron a estudio. Estos cálculos fueron fundamentales para la observación en las variaciones de los modelos descritos a medida que fue aumentando la potencia del ruido.
- Con la variación de los modelos del canal, fue estudiado, mediante procesos correlativos, las variantes existentes entre la etapa transmisora y receptora. Donde, dadas las gráficas y secuencias generadas en la fase anterior, fueron comparadas en las distintas etapas, visualizándose y examinando los cambios debido a las distintas condiciones de propagación mencionadas anteriormente. De esta forma se fueron evaluando cada par de PCI contra ellos mismos por medio de la correlación cruzada en la etapa receptora, así como un valor determinado de PCI contra todos los posibles valores restantes para especificar las mejores y peores asignaciones para los eNB dentro de la red LTE.
- En orden de realizar un análisis exhaustivo sobre los problemas debido al PCI, se simularon diversos métodos típicos de detección del mismo usados por el UE, para de esa manera apreciar cuales valores de PCI entraban en conflicto visto del lado del receptor o usuario. Los métodos implementados

consisten en la detección de secuencias por máxima verosimilitud (Maximun Likelihood), el cual en esencia compara una señal o secuencia de llegada con un grupo de otras secuencias patrones, para elegir de dicho grupo la que más se aproxima a la señal de llegada y de esto inferir que la segunda es la versión distorsionada de la primera. Estas comparaciones luego son pasadas por algoritmos decisorios y de verificación para finalmente permitir al UE estimar un PCI a partir de la señal de transmitida por la celda. [26], [23], [19] Los métodos se pueden dividir en dos tipos, los que mejoran la calidad de la señal proveniente de la celda mediante la estimación de canal, específicamente es la compensación que se le aplica a las S-SCH mediante la respuesta impulsiva calculada con la P-SCH, el cual se le conoce como detección coherente, y el otro tipo, que no mejora la señal de llegada y trabaja directamente con esta, por lo que se define como no coherente. En términos generales se define como coherente a un proceso que use información acerca del canal, y no coherente cuando el proceso no necesita a priori conocer la respuesta impulsional del canal. Así pues los métodos implementados en el receptor fueron:

◇ Detección no coherente de P-SCH en el tiempo: este método se aplicó siempre al comienzo del proceso de detección de PCI y sirve para estimar la señal P-SCH que envía la celda, y así poder conocer el parámetro $N_{ID}^{(2)}$.

Teniendo la P-SCH distorsionada recibida y conociendo la P-SCH ideal que se envió es posible conocer la respuesta impulsional del canal, que es necesaria para los métodos coherentes.

◇ Detección coherente de S-SCH en frecuencia. B: consiste en la estimación de la señal S-SCH enviada por la celda, para conseguir luego el parámetro $N_{ID}^{(1)}$, y calcular el PCI. En este proceso se mejora la señal de llegada S-SCH dividiéndola por la respuesta de canal estimado previamente por el proceso de detección no coherente de PSCH.

◇ Detección no coherente de S-SCH en frecuencia. C: consiste en la esti-

mación de la señal S-SCH enviada por la celda, para conseguir luego el parámetro $N_{ID}^{(1)}$, y calcular el PCI. En este proceso no se hace ninguna mejora la señal de llegada S-SCH debido a que es no coherente.

◇ Detección coherente de S-SCH utilizando Secuencias M: en estos dos métodos se toma la señal de llegada S-SCH y se desglosa en sus secuencias generatrices como lo son Z0, Z1, S0, S1 y es sobre estas que se aplican los análisis comparativos para determinar el parámetro $N_{ID}^{(1)}$ enviado, y no sobre el total como en el método B y C.

- Estimado por medio de las secuencias Z0 y Z1. D1: en este proceso serán las secuencias-m Z0 y Z1 que se tomarán en cuenta para estimar el parámetro que la celda envió, luego con $N_{ID}^{(1)}$ y $N_{ID}^{(2)}$ hallado por medio de del método de Detección no coherente de P-SCH, es posible obtener el PCI. Hay que recordar que como es un método coherente la señal S-SCH de la que se extraen Z0 y Z1 será una S-SCH mejorada.

- Estimado por medio de las secuencias S0 y S1. D2: este proceso es similar al D1 con la diferencia que las secuencias-m que se estudiaran serán las S0 y S1.

◇ Detección no coherente de S-SCH Utilizando Secuencias M: Estos dos procesos son bastante parecidos al D1 y D2 respectivamente, con la mayor diferencia de que no se compensa la S-SCH a través de la respuesta de canal, y se utiliza la S-SCH que llega directamente.

- Estimado por medio de las secuencias Z0 y Z1. E1

- Estimado por medio de las secuencias S0 y S1. E2

Los métodos que instalan los fabricantes en sus equipos pueden ser distintos, por lo que un promedio de las detecciones hechas por los métodos B, C, D1, D2, E1 y E2 representaría un población de UE's en un área determinada, a ese promedio se le llamo global. Además, los metodos se puesieron a prueba en diversas condiciones de propagación y nivel SNR realizando 3 iteraciones por cada método detección y así observar cual era el PCI que tendía a detectar. De

esta manera se pudo calcular las probabilidades de detección de un cierto PCI para diversas condiciones de propagación.

3.1.3. Fase 3: Generación de recomendaciones o estrategias para la asignación del parámetro PCI.

En esta etapa, primeramente, se estudió todo lo referente a la redacción y estructura de un informe técnico, exponiendo de forma práctica y útil, datos y hechos dirigidos ya sea a una persona o empresa, sobre el problema que se reportó en el I de este documento, arrojando las propuestas y estrategias necesarias para solventar dichos inconvenientes una vez realizado el análisis de las causas generadoras de interferencias dentro de la red LTE.

Se presentó, de forma sistematizada, el marco común, conceptos y el conjunto de recomendaciones o propuestas técnicas para la planificación del parámetro PCI en la red LTE.

Capítulo IV

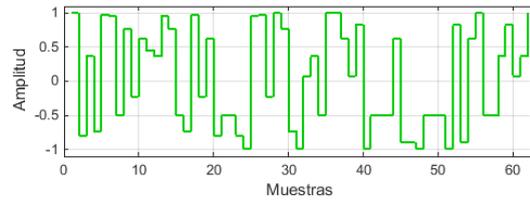
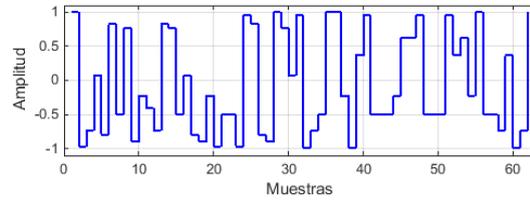
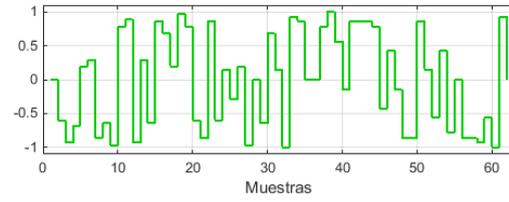
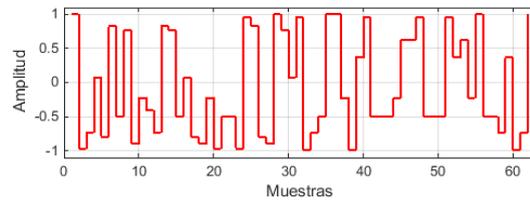
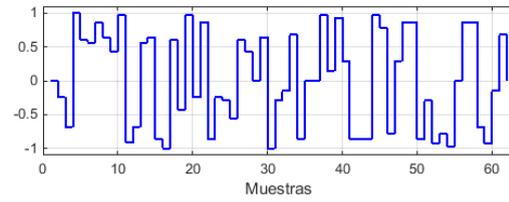
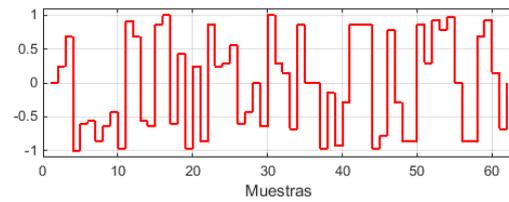
Análisis, interpretación y presentación de los resultados

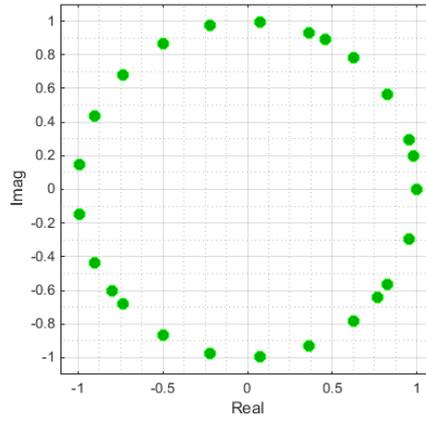
4.1. Comportamiento de las señales de sincronización y referencia en función del parámetro PCI.

4.1.1. Análisis inicial de las señales

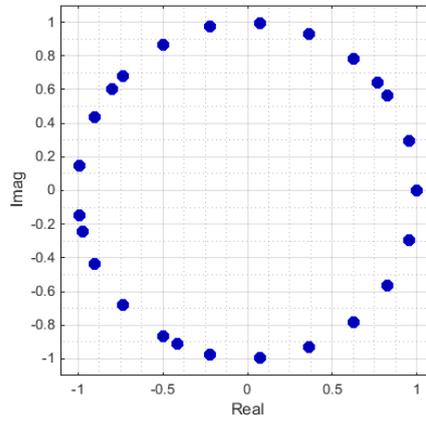
Primeramente, se evaluó el comportamiento de las señales de las cuales depende el parámetro PCI en el entorno de simulación. Las figuras mostradas fueron generadas a partir de las estandarizaciones realizadas por la 3GPP para la red LTE.

Se presenta, para el caso de las señales de sincronización primarias, las graficas representativas de las secuencias Zadoff-Chu generadoras. Se muestra los 3 casos en función del índice "u" tanto en su parte real como imaginaria. Como se aprecia en la figura [4.2](#) la amplitud de todas las secuencias, en el plano complejo es constante, lo que confirma lo esperado, y es que las P-SCH tienen muy buenas propiedades de robustez frente a derivadas (offsets) en frecuencia, lo que facilita la sincronización temporal inicial con el sistema, introduciendo una complejidad menor al transmisor.

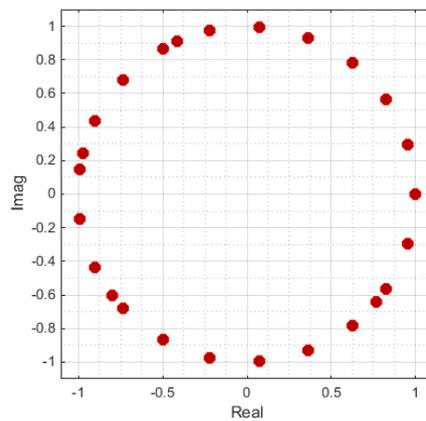
(a) Parte real e imaginaria para $N_{ID}^{(2)}=0$ (b) Parte real e imaginaria para $N_{ID}^{(2)}=1$ (c) Parte real e imaginaria para $N_{ID}^{(2)}=2$ **Figura 4.1:** Partes reales e imaginarias de las secuencias P-SCH



(a) Representación plano complejo para $N_{ID}^{(2)}=0$



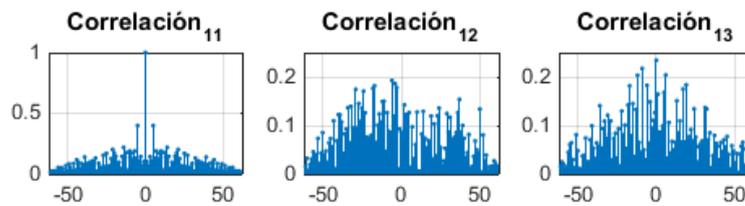
(b) Parte real e imaginaria para $N_{ID}^{(2)}=1$



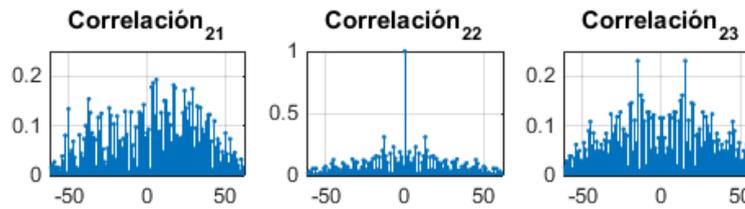
(c) Parte real e imaginaria para $N_{ID}^{(2)}=2$

Figura 4.2: Representación en el plano complejo de las secuencias P-SCH

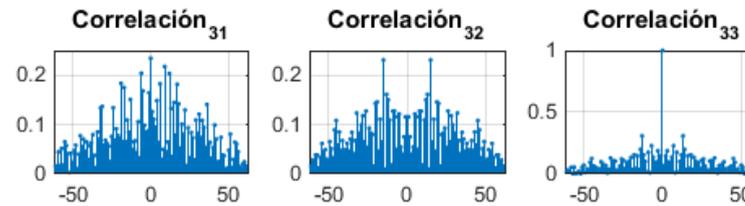
Observando otras de las propiedades de las P-SCH tenemos la figura 4.3 donde se afirma que la autocorrelación es idealmente cero, aunque, como se puede apreciar, en la práctica se ve que no es exactamente cero, con valores cercanos a 0.2 que pueden tomarse como insignificantes, por lo que solo bajo condiciones muy críticas o desfavorables podrían llegar a confundirse. En caso de que se busque correlacionar una secuencia con ella misma dara un valor máximo debido a propiedades de autocorrelación.



(a) Correlaciones para la secuencia $N_{ID}^{(2)}=0$



(b) Correlaciones para la secuencia $N_{ID}^{(2)}=1$

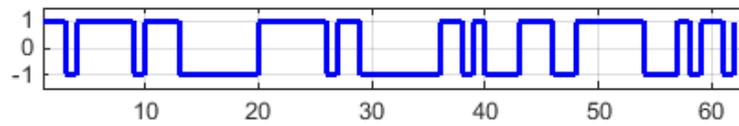


(c) Correlaciones para la secuencia $N_{ID}^{(2)}=2$

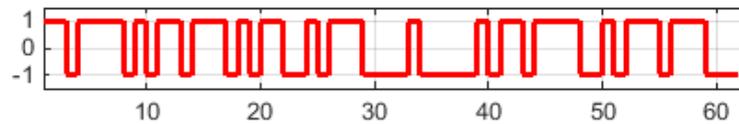
Figura 4.3: Correlaciones entre las secuencias P-SCH

La figuras 4.4 y 4.5 representa los valores de las secuencias de sincronización secundarias, en su longitud correspondiente de 62 elementos, en la subtrama 0 y subtrama 5. Fueron elegidos los valores de PCI=0 y PCI=1, entre los 504 posibles

valores de PCI para observar la forma de secuencia de las S-SCH, arrojando lo estipulado por la 3GPP. [5], [12]

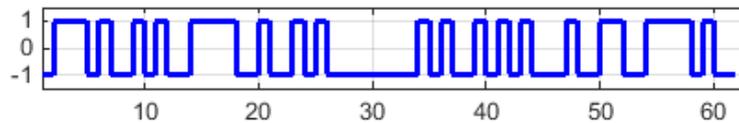


(a) Secuencia S-SCH para el PCI=0 en la subtrama 0

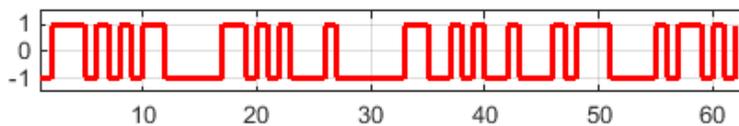


(b) Secuencia S-SCH para el PCI=0 en la subtrama 5

Figura 4.4: Secuencias S-SCH para el PCI=0



(a) Secuencia S-SCH para el PCI=1 en la subtrama 0

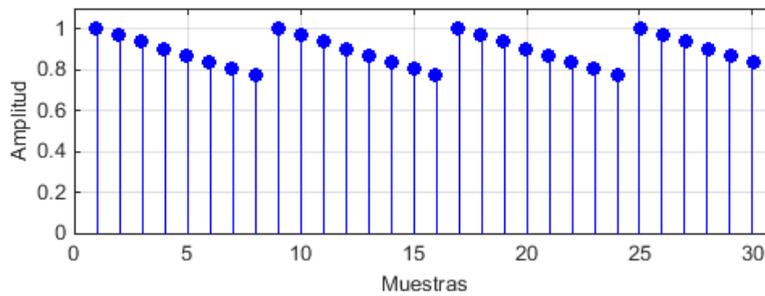


(b) Secuencia S-SCH para el PCI=1 en la subtrama 5

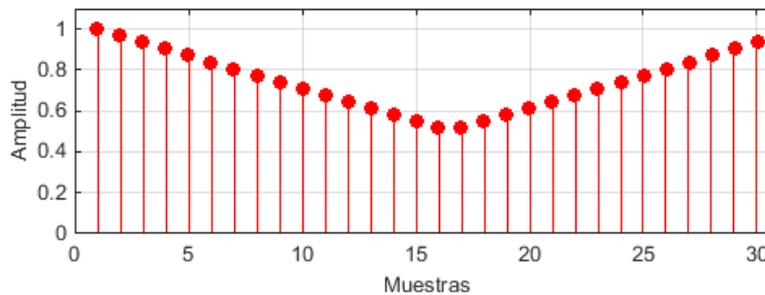
Figura 4.5: Secuencias S-SCH para el PCI=1

Por otra parte, fue desglosada las S-SCH en sus respectivas secuencias de máxima longitud o m-sequences, estas secuencias m, son secuencias cíclicas, como se muestra en la figura 4.6, donde se observa la correlación del primer valor de z_0 y

S_0 vs los restantes valores. Fue importante la observación, en sus inicio, de estas secuencias, debido a que mediante ellas se haria la detección de secuencias por máxima verosimilitud en el receptor. La grafica mostrada sirvio como alerta, ya que al repetirse valores de amplitud máximos iguales, entre las muestras, al dispositivo le costará hacer una detección correcta, agregando mas carga computacional al sistema.



(a) Correlación de la Z_0 con las restantes 30 Z_0



(b) Correlación de la S_0 con las restantes 30 S_0

Figura 4.6: Correlaciones de las secuencias m de las S-SCH

4.1.1.1. Análisis correlativo de las señales secundarias

Una vez generadas las secuencias de sincronización, fueron estudiados los valores correlativos que existían entre unos PCI y otros, realizando un barrido de 504 por 504 PCI, en función de las S-SCH, donde se observó mediante gráficas como la descrita en la figura 4.7. En este ejemplo se tomó como valor a observar el PCI=6 el cual presentó altos valores correlativos (mayores a 0.5) con el PCI=10 y PCI=15

tanto en la subtrama 0 como en la subtrama 5 de las señales de sincronización secundarias.

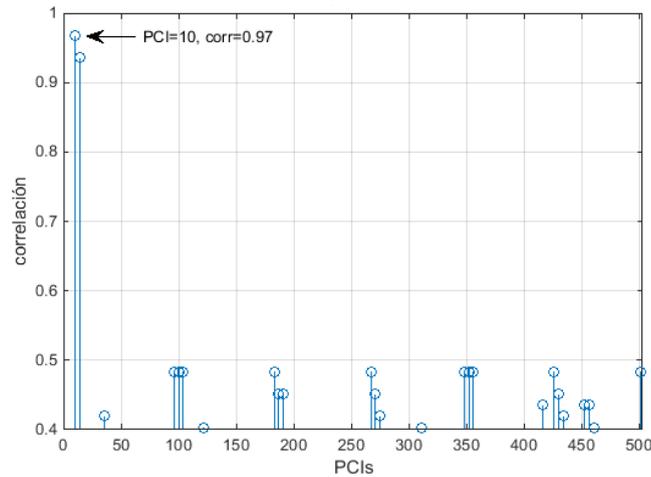


Figura 4.7: Correlación cruzada de la secuencia S-SCH del PCI=6 en la subtrama 0 Vs. el resto de los PCI

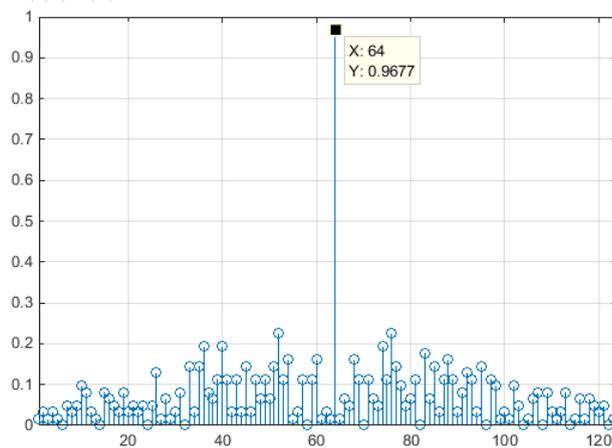


Figura 4.8: Correlación cruzada de la secuencia S-SCH del PCI=6 con la secuencia S-SCH del PCI=10 en la subtrama 0

De la figura 4.8, se puede estimar que parámetros de PCI como 6 y 10 no pueden pertenecer a celdas aledañas, debido a sus altos valores correlativos, de ser elegidos, el dispositivo móvil tendría problemas de sincronización al poder tomar el PCI

erroneo. Sin embargo, lo antes descrito es para el caso de una red con un canal ideal, donde lo que es transmitido es recibido por el receptor. Al hablar de un canal real estaremos hablando de canales con perturbaciones, por tanto, el estudio hasta este punto no fue suficiente. Se sometió a canales reales estipulados por el estandar donde los resultados fueron otros y serán mostrados mas adelante.

4.1.2. Construcción de la grilla de elementos de recursos

Una vez generadas las secuencias pertinentes se procedió al traslado a la grilla de recursos del sistema como se muestra en la figura 4.9 y 4.10. Se Observa la grilla para el valor de PCI=0 y PCI=3, con las secuencias P-SCH, S-SCH y RS ubicadas en determinados recursos elementales para de esta forma facilitar la implementación de los mecanismos físicos para realizar la demodulación/detección de las señales que serán moduladas.

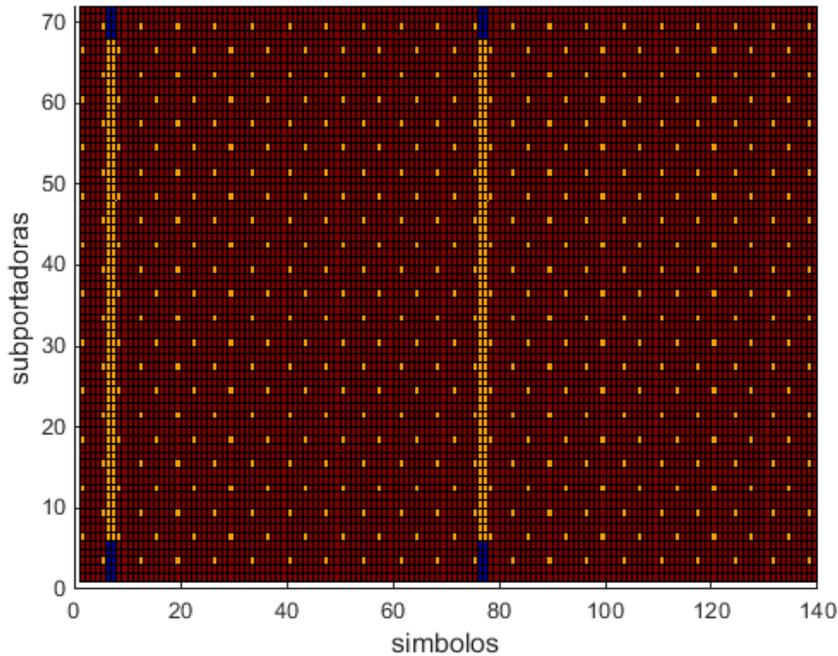


Figura 4.9: Grilla de elementos de recursos para PCI=0

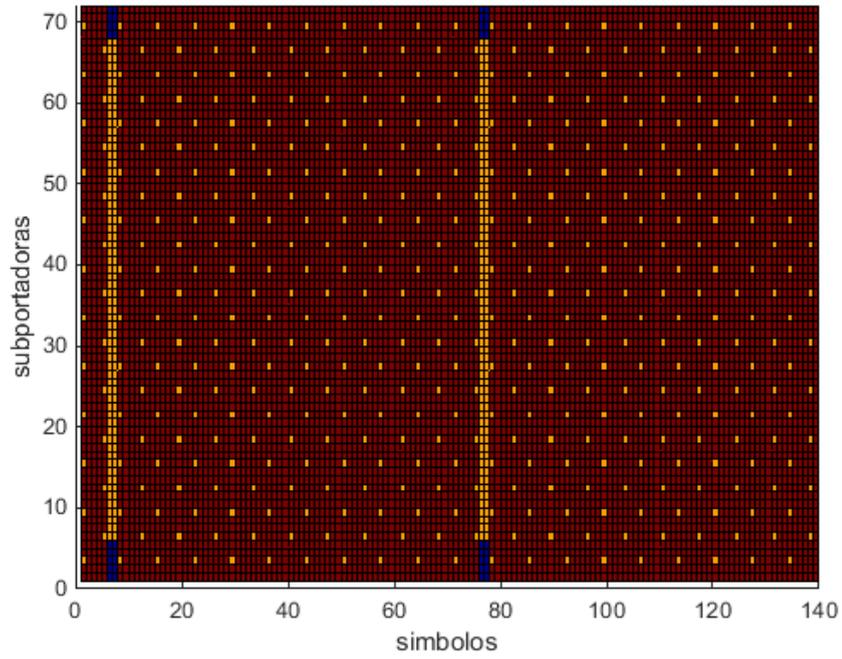


Figura 4.10: Grilla de elementos de recursos para PCI=3

Si se hace un acercamiento a las gráficas anteriores estaremos observando lo demostrado en la figura 4.11, debido a la utilización de una única antena transmisora, el corrimiento en la grilla tal como lo descrito en la ecuación [3.1]

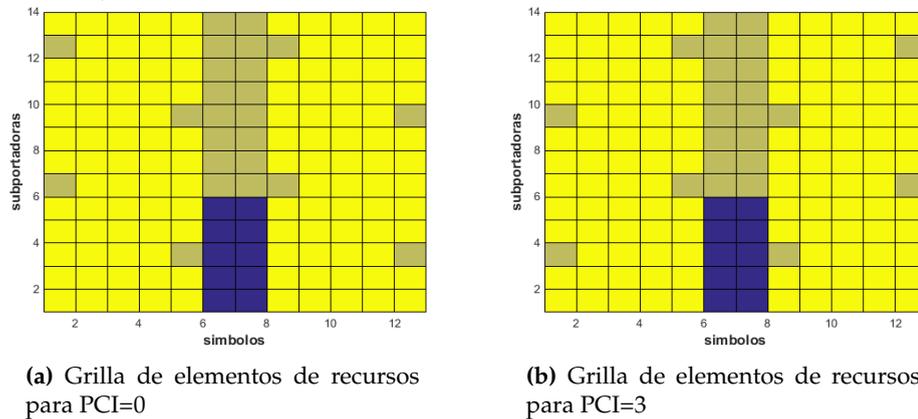


Figura 4.11: Corrimientos en la grilla de recursos debido a la utilización de una antena transmisora

En la figura 4.12 se muestra finalmente la grilla transformada en señal OFDM, la cual será enviada a la interfaz aire.

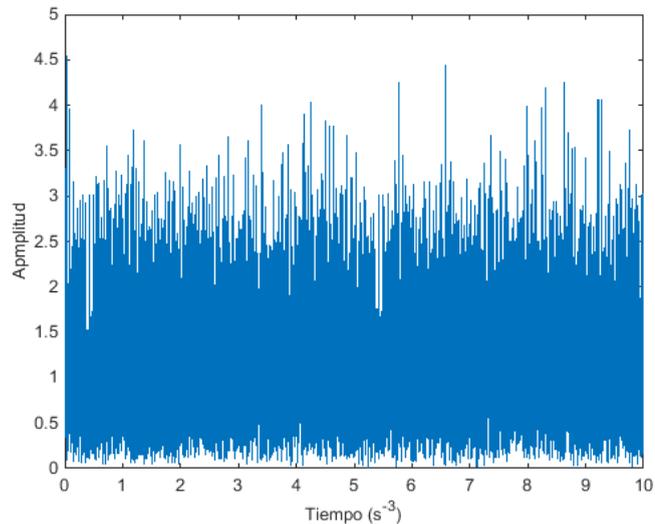


Figura 4.12: Señal OFDM para el PCI=0

4.2. Análisis del comportamiento de las señales de sincronización y referencias a través de modelos de canales típicos en LTE

Una vez estudiados los métodos de detección de secuencias por máxima verosimilitud se pudo realizar comparaciones entre sus variantes ideales y reales. Se presenta primeramente la figura 4.13 en la cual se muestra para el caso ideal los mejores casos de detección. Cuando hacemos referencia a las B, C, D1, D2, E1, y E2 nos referimos para designar a:

- B = Detección coherente de S-SCH en frecuencia.
- C = Detección no coherente de S-SCH en frecuencia.
- Detección coherente de S-SCH utilizando Secuencias M.

D1 = Estimado por medio de las secuencias Zo y Z1.

D2 = Estimado por medio de las secuencias S0 y S1.

- Detección no coherente de S-SCH Utilizando Secuencias M

E1 = Estimado por medio de las secuencias Zo y Z1.

E2 = Estimado por medio de las secuencias S0 y S1.

- Global = promedio de todos los métodos

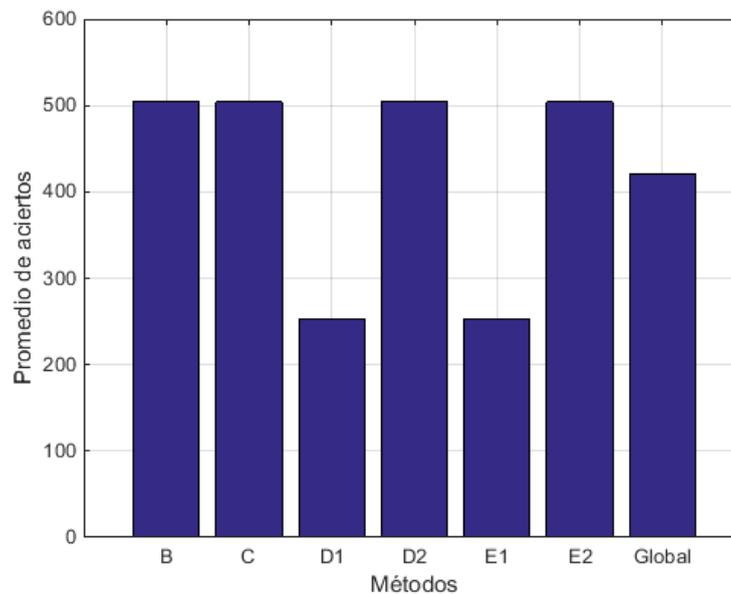


Figura 4.13: Promedio de eficiencia de aciertos para el caso sin perturbaciones.

Se Pudo notar los mejores casos de detección por parte del receptor donde el promedio de aciertos para la mayorías de los casos es excelente menos para los métodos D1 y E1. Sin embargo, la realidad es otra, cuando nos vamos al caso real como en la figura 4.15 se nota el descenso en el caso de los métodos C y E2 la cuales son versiones no coherentes. Los métodos D1 y E1 se mantienen mientras que los métodos B y D2, los cuales son casos coherentes serian las mejores opciones de detección ya que por cada 504 PCI enviados aciertan aproximadamente 100 . Para el caso global disminuyo debido a la mala calidad de detección de los métodos C

y E2. Aunque en esencia son los mismos métodos, es importante resaltar que en la realidad los equipos poseen mejores métodos de detección que estos. El promedio de aciertos debe ser mayor puesto que los fabricantes utilizan métodos más sofisticados y complejos en los dispositivos

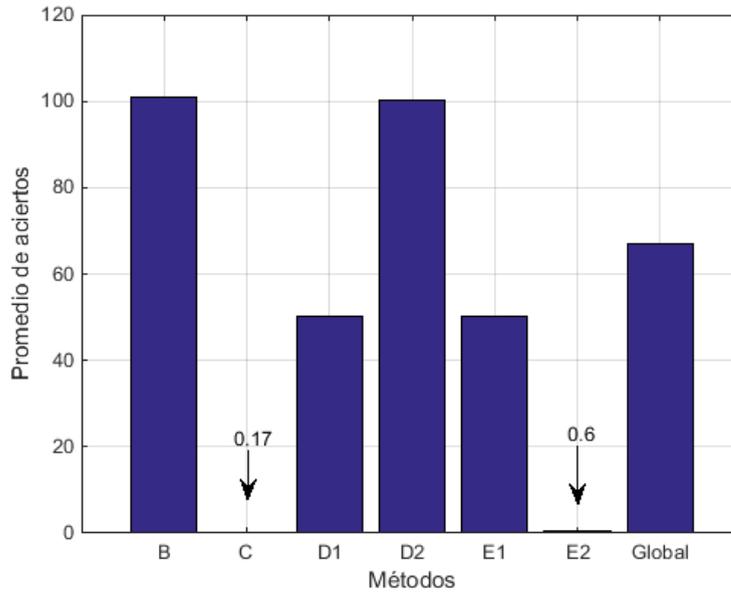


Figura 4.14: Promedio de eficiencia de aciertos para el caso con perturbaciones.

4.2.1. Ensayo de verificación BER Vs. SNR(dB)

Se dispuso, en la figura 4.15, a realizar la gráfica de BER Vs. SNR(dB) de un esquema de modulación digital QPSK para validar el procedimiento utilizado. El rango del SNR fue variado entre 0 y 12dB. La figura 4.16 [27] fue utilizada como referencia de validación.

A medida que aumenta el SNR disminuye el BER. De esta forma se comprueba la técnica utilizada para el cálculo del SNR.

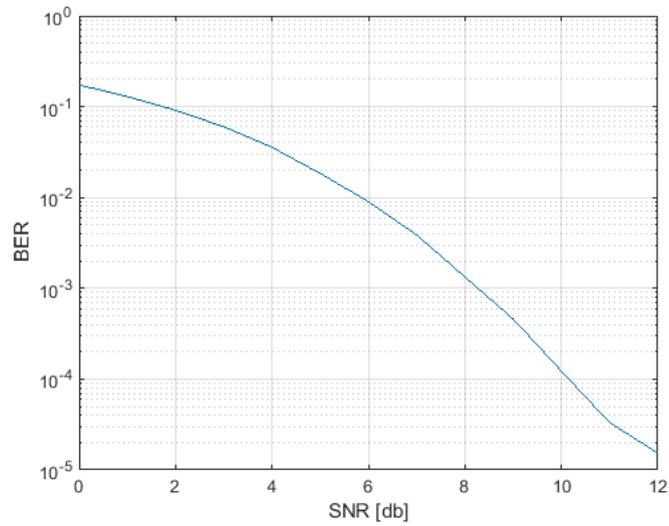


Figura 4.15: Gráfica de BER vs SNR(dB) con Esquema de Modulación QPSK en ambiente gaussiano, obtenida a través del sistema.

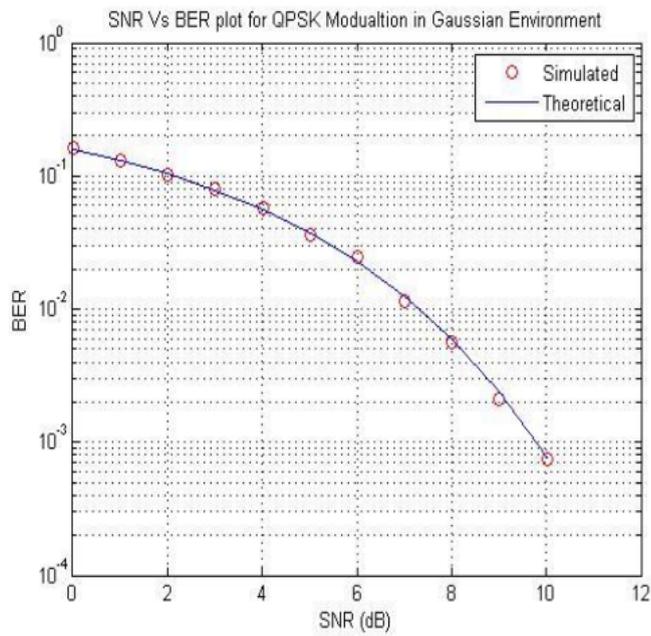


Figura 4.16: Gráfica de BER vs SNR(dB) con Esquema de Modulación QPSK en ambiente gaussiano. (Fuente: Lokendra Singh [27])

4.3. Generación del concepto de *Factor de Riesgo (FR)*

La data arrojada en la capa 4 descrita en el Capítulo III fue de especial interés, ya que mediante la misma se determinaron las distintas variaciones existentes entre los parámetros PCI una vez pasados por el canal de comunicaciones. Se pretendía, en un principio, con la data mencionada, crear recomendaciones de ciertos valores de PCI conflictivos de forma delimitada. Sin embargo, se propone un nuevo termino global, denotado como Factor de Riesgo (FR), este factor dependerá de la probabilidad de detección del PCI correcto o erróneo en función del método de detección de PCI y de las de correlaciones cruzadas de las señales llegadas a la etapa receptora, tal y como se describe en la figura 4.17. El FR propone 3 niveles de riesgo en la asignación del parámetro PCI, siendo esto una ventaja, debido a la simplificación o compactación de toda la información existente acerca 2 o más valores de PCI, ofreciendo una representación efectiva y clara del riesgo de detección errónea de PCI entre celdas aledañas.

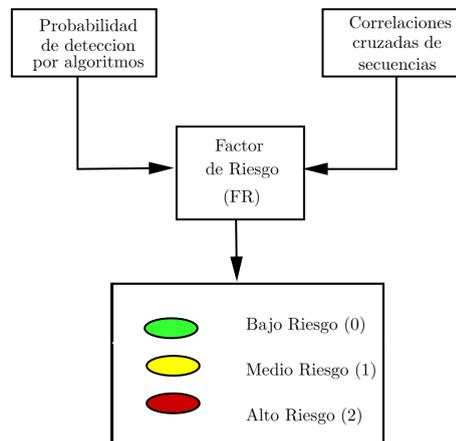


Figura 4.17: Relaciones del Factor de Riesgo (FR).

4.3.1. Generación de base de datos

La base de datos generada, consiste en una serie de matrices con relaciones escalares entre los PCI para diversas condiciones de propagación, está diseñada pa-

ra ser usada conjuntamente con la metodología presente en este documento. Para cada valor de la matriz de Factor de Riesgo, de la forma:

$$FR(PCI_a, PCI_b) \quad (4.1)$$

Representará, en el primer término, una celda ya establecida anteriormente con un PCI asignado, y el segundo una celda nueva esperando a la asignación de PCI. Para el caso de la ecuación 4.1 representará una celda con un PCI_a asignado anteriormente, el cual presentará un bajo (0), medio (1) o alto (2) riesgo de ocurrencia de problemas debidos si a una celda cercana se le asigna un valor de PCI_b .

Entonces si se tiene:

$$FR(PCI_a, PCI_b) = 0 \quad (4.2)$$

Implica que existe un bajo riesgo para el UE de detectar un PCI_b erróneamente cuando se recibe un PCI_a , esto se denomina FR directa de PCI_a con PCI_b , o de forma equivalente FR inversa de PCI_b con PCI_a , de igual forma:

$$FR(PCI_b, PCI_a) = 1 \quad (4.3)$$

Quiere decir que existe un riesgo medio de que el UE detecte erróneamente el PCI_a , cuando el que se recibe es el PCI_b . Esto se denomina FR directa de PCI_b con PCI_a , o de forma equivalente FR inversa de PCI_a con PCI_b .

Debido al criterio de diseño es importante tener en cuenta que:

$$FR(i, a) \neq FR(a, i) \quad (4.4)$$

De esto se entiende que una matriz de FR no es simétrica, y $FR(a,i)$ representa el factor de riesgo de PCI_a con todos los demás PCI, es decir el factor de riesgo visto

desde la celda con el PCI_a . Este corresponde a la fila “a” para todas las columnas, mientras $FR(i,a)$ será el factor de riesgo de los i PCI con a, es decir el factor de riesgo visto desde las celdas, que corresponde a todas las filas para la columna “a”.

Como importante se debe cumplir que para dos celdas, tanto $FR(PCI_a, PCI_b)$, como $FR(PCI_b, PCI_a)$, deben ser de riesgo bajo o medio, para considerar aceptable la asignación del nuevo PCI_b .

La matriz numérica puede ser visualizada en colores descriptivos para facilitar al operador el uso del método de asignación de PCI mediante FR. (ver tabla 4.1)

Tabla 4.1: Relación de colores y niveles de riesgo para el FR

Valor Numérico	Color	Nivel de Riesgo
0	Verde	Bajo
1	Amarillo	Medio
2	Rojo	Alto

Los niveles de riesgo serán determinados por los valores de autocorrelación y probabilidad de detección correcta, para cada PCI estudiado, y la posición que las correlaciones y probabilidades de detecciones de los otros PCI tienen respecto a los primeros. Por ejemplo, si el PCI A estudiado tiene una autocorrelación de 0.8, o una probabilidad de detección de 80%, pero la correlación con PCI B es igual a 0.9, o su probabilidad de detección es 90%, entonces el FR entre PCI A y PCI B es considerado como alto. Mientras que una correlación de 0.85 y 0.5 serían clasificadas como medio y alto riesgo, respectivamente.

Por otra parte, mediante el factor de riesgo se especifican los procedimientos o pasos para la correcta asignación del parámetro PCI. Las recomendaciones de asignación se muestran en el anexo de este documento y refleja los factores de riesgo existentes para la asignación de un PCI u otro. Ver **sección 5 del anexo** donde se explica a detalle los parámetros creados para la elaboración del FR así como los cálculos realizados.

El tamaño de una matriz de FR es de 504x504 y contiene todas relaciones posibles entre los PCI, clasificados en tres niveles, como se mencionó anteriormente.

Con esta matriz el encargado de la planificación podrá evaluar de forma rápida y sistemática, las limitantes existentes en la asignación entre un parámetro de PCI u otro, ver figura 4.18. Por otro lado, la figura 4.19 representa una visión general de todas las matrices de FR generadas, observándose la existencia de una matriz de FR para cada una de las condiciones de propagación simuladas, como el modelo de canal LTE escogido con su respectiva frecuencia Doppler, y el nivel de SNR, y de esa manera contar con una matriz de FR para la asignación de PCI en diversos escenarios.

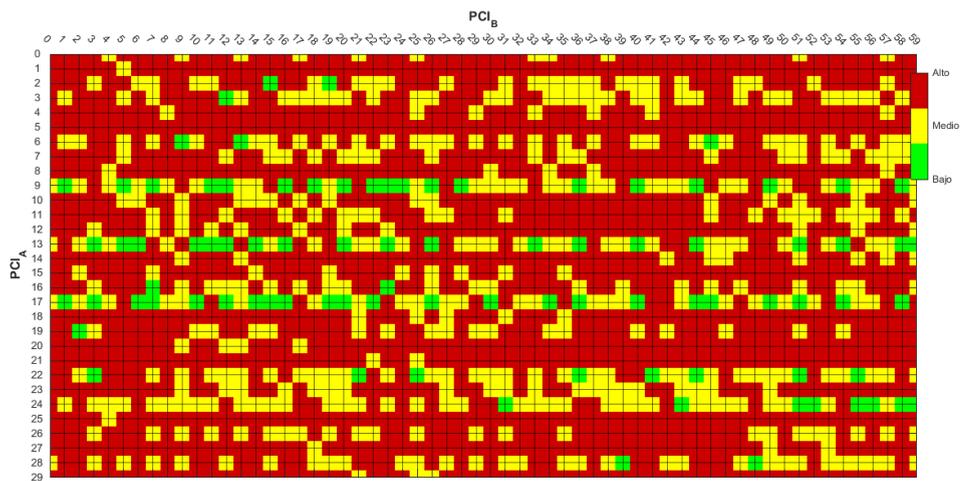


Figura 4.18: Extracto de 30x60 de la matriz del FR para un modelo de canal EPA de 5Hz y un SNR=1.

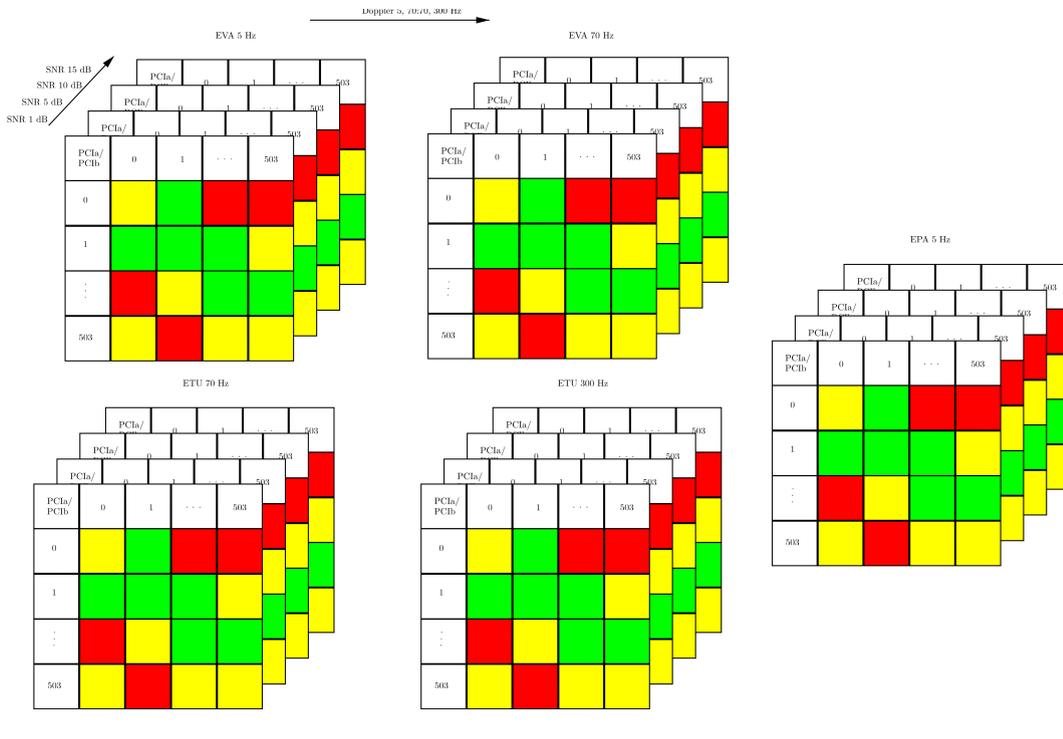


Figura 4.19: Representación de matrices de Factor de Riesgo para los distintos modelos de canales de comunicaciones y valores SNR.

4.4. Generación de documento de recomendaciones

Se propone una documentación detallada para la correcta asignación del parámetro PCI dentro de la red LTE, presentándose una estructura bajo las líneas de redacción de un Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) que consiste de unas instrucciones paso a paso que explican cómo ejecutar una tarea. Los estándares publicados por la organización 3GPP sirvieron también de apoyo para la redacción y selección del contenido. [5], [12]

Para ser plasmado el documento de recomendaciones fueron importante cubrir los siguientes puntos:

- Elegir un formato: formato de diagrama de flujo debido a que los resultados obtenidos no eran predecibles

- Tomar un cuenta al lector: según el conocimiento previo una vez que leye el trabajo especial de grado.
- Mantenimiento del objetivo a alcanzar: se mantuvo el objetivo específico de la correcta asignación del parámetro PCI en función del FR. Puntual y preciso.
- Cubrir el material necesario: pagina inicial de presentación, tabla de contenido, contenido explicativo asegurando la calidad y referencias.
- Cubrir el procedimiento: alcance y aplicabilidad, metodología y procedimiento y clarificación de las terminologías.

El documento mencionado se encuentra en **Apéndice A** y lleva por nombre:

Metodología de asignación del parámetro Physical Cell ID (PCI) en la red LTE mediante el Factor de Riesgo. V.1.1.(12-2016).

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Cada celda de la red tiene asignado un valor de PCI específico para poder diferenciar una celdas de otras. La mala elección de este parámetro puede causar dentro de la red problemas realmente significativos, es por ello, que el estudio presentado da un aporte extra a las comunicaciones, aperturando un camino que ha sido escasamente estudiado pero que tiene una gran relevancia dentro de la planificación de la red.
- La alta demanda de los usuarios y sus expectativas de no tener interferencia en las comunicaciones, hacen que la etapa inicial de sincronización y cálculo de la identidad de celda mediante el parámetro PCI, sea el procedimiento pilar para el acceso a la red LTE, por ende, es necesario la implementación de recomendaciones, basadas en los posibles escenarios de conflicto de asignación, que complementen la planificación de las redes LTE y elevando la calidad de estas.
- Se propone un nuevo parámetro denominado Factor de Riesgo (FR) que mide la relación entre cada par de PCI, para distintas condiciones de propagación, englobando la información obtenida acerca de los dos, y representándola en

tres estados, simplificando la toma de decisiones. El FR también es acompañado por una metodología de uso, los cuales en conjunto abordan casos de posible conflicto entre PCI que la estandarización no menciona.

- El cálculo del Factor de Riesgo no estará supeditado a las simulaciones realizadas en este trabajo, el mismo puede ser nutrido por data proveniente de análisis más sofisticados, complejos o reales de empresas de telecomunicaciones, con el objetivo de mejorar su precisión y refinarlo. Se estima, que implementando simulaciones con métodos de detección de PCI más detallados, semejantes a los que establecen los fabricantes de celulares, la calidad, en las lecturas del parámetro FR se elevaría mucho.
- Las conclusiones y estrategias provistas en el documento de recomendación para la asignación del parámetro PCI, además de servir para la planificación inicial de un conjunto de radio bases, también pueden ser útiles en la solución de problemas con el parámetro PCI en tiempo real de una red ya preestablecida, esto se lograría codificando las recomendaciones presentes para agregarlas como parte del sistema SON (Self Organising Network) de las redes LTE.

5.2. Recomendaciones

- Por el FR ser directamente proporcional a la calidad del canal y a la eficiencia del método de detección utilizado, se propone realizar un estudio con métodos de detección y canales más robustos o avanzados que sirvan de comparación para mejoras del establecido.
- Utilizar otro entorno de simulación sin perder el nivel de detalle o control sobre la grilla y las señales pilotos mapeadas.
- Agregar algoritmo de asignación automático, donde no se deje la responsabilidad de asignación y control al operador, sino que sea un proceso computarizado dependiente de la data establecida por la red.

- Agregar o implementar condiciones topográficas de los eNB, como áreas de cobertura, relieve y distribución geográficas de las celdas.
- Agregar implementación para MIMO y diversas configuraciones de sistema (mayor canalización, TDD, etc.).
- Posiblemente la mayor limitación del presente trabajo es que se ha centrado en un estudio puramente teórico y de simulación, y no ha incluido ninguna implementación real. Así, una línea interesante a seguir, podría ser la utilización de casos reales ofrecidos por alguna empresa de telecomunicaciones para comparar sus resultados con los resultados hallados por la simulación.
- Una de las virtudes de este proyecto es la data final generada, la cual puede ser usada como base de datos para softwares de planificación en diversas plataformas privadas o de código libre, y además sería de muy fácil utilización para el diseño de una interfaz gráfica con el fin de facilitar automatizar los pasos de la planificación.

Apéndice A

METODOLOGÍA DE ASIGNACIÓN DEL PARÁMETRO PHYSICAL CELL ID (PCI) EN LA RED LTE MEDIANTE EL FACTOR DE RIESGO V1.1. (12-2016)

Autores:

TORRES YOFRANK

VALOR ROMER

Tutor:

ING. AHMAD OSMAN

Diciembre del 2.016.

Prólogo

Esta recomendación técnica ha sido producida por los Br(s) Romer Valor (C.I. V-20.384.326) y Yofrank Torres (C.I. V-19.566.918) como parte de su trabajo final de grado, publicada por la escuela de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería, de la ilustre Universidad de Carabobo de la República Bolivariana de Venezuela. El presente documento puede referirse a las especificaciones técnicas e identidades creadas por la ETSI 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

La modificación del contenido de este documento se identificará con un cambio de fecha de publicación e incremento del número de versión como sigue:

- Versión X.Y.
 - X: El primer dígito es incrementado cada vez que una nueva versión es aprobada por un jurado académico.
 - Y: El segundo dígito es incrementado para todos los cambios como mejoras técnicas, correcciones y actualizaciones.

1.1. Metodología de Asignación del parámetro PCI basada en el FR

En esta etapa se hará específica mención del proceso inicial que se deberá tener en cuenta para la correcta asignación del parámetro PCI dentro de la red. La misma se realizará en base a la elección del Factor de Riesgo (FR). El proceso de asignación se dividirá como primera fase en dos grandes tomas de decisiones: (Ver figura 1.1)

1. En el primer paso será necesario se decida el tipo de enfoque que será utilizado, con la información previa acerca de las condiciones de propagación para la celda actual, como el SNR y el modelo de canal LTE. Será elegido un enfoque específico, como el descrito en la sección 1.1.1.1. o un enfoque general, como el descrito en la sección 1.1.1.2.
2. Se inicia el proceso de verificación y asignación, donde de ser posible se escoge un valor de PCI permitido para la celda mediante la data de FR y la lista de PCI asignados previamente.
3. Repetir pasos anteriores para todas las celdas de la planificación.

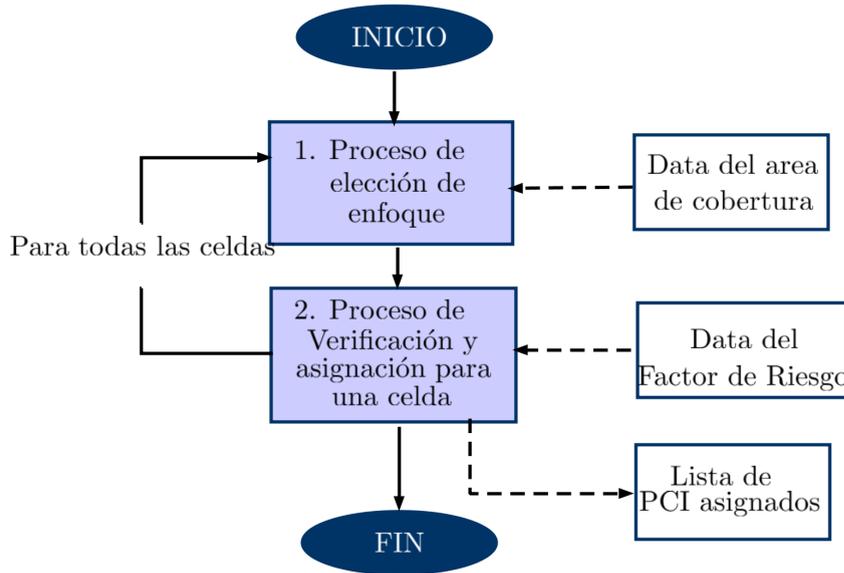


Figura 1.1: Esquema para la toma de decisión existente en la primera fase de asignación del parámetro PCI.

1.1.1. Proceso de elección de enfoque

Dentro del proceso de elección de enfoque el operador del método optará por los procesos 1 o 2, donde:

1. Enfoque detallado: en este enfoque es más preciso, al ser elegido en base a la data dada por el operador, las especificaciones tanto del modelo del canal que desea estudiar como la magnitud del SNR, entre las disponibles, que utilizará, ver sección 1.1.1.1..
2. Enfoque general: en el caso contrario, que no se posea ninguna data anterior y se decide no especificar, una o ambas condiciones de propagación, se utiliza un enfoque general, ver sección 1.1.1.2..

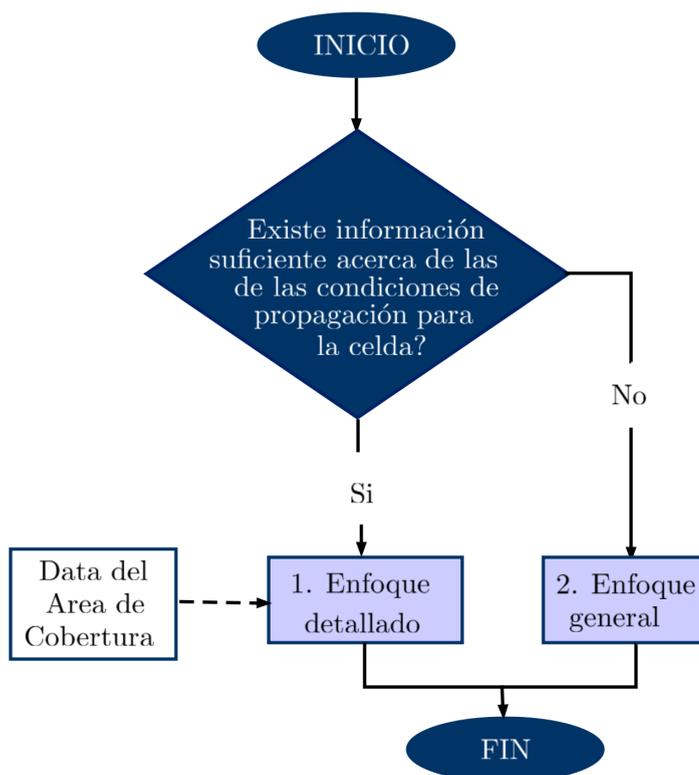


Figura 1.2: Proceso para la generación de enfoque.

1.1.1.1. Proceso de enfoque detallado

Dentro de este proceso, el operador del método, estará en la disposición de estipular el modelo del canal LTE que desea estudiar y el nivel de SNR en función de la data preestablecida. Se escogerá, entre los valores de SNR y modelos de canales disponibles, cuáles serán los valores para trabajar en la celda que se desee, y de acuerdo a esto conseguir c y r , ver **Tabla 1.1**.

Tabla 1.1: Tabla de parámetros de elección por el operador para el enfoque detallado.

Indice (c,r)	Modelo del Canal	Frecuencia Doppler	SNR
1,1	EPA	5Hz	1dB
2,1	EVA	5Hz	1dB
3,1	EVA	70Hz	1dB
4,1	ETU	70Hz	1dB
5,1	ETU	300Hz	1dB
1,2	EPA	5Hz	5dB
2,2	EVA	5Hz	5dB
3,2	EVA	70Hz	5dB
4,2	ETU	70Hz	5dB
5,2	ETU	300Hz	5dB
1,3	EPA	5Hz	10dB
2,3	EVA	5Hz	10dB
3,3	EVA	70Hz	10dB
4,3	ETU	70Hz	10dB
5,3	ETU	300Hz	10dB
1,4	EPA	5Hz	15dB
2,4	EVA	5Hz	15dB
3,4	EVA	70Hz	15dB
4,4	ETU	70Hz	15dB
5,4	ETU	300Hz	15dB

Donde los índices c y r identifican a cada matriz de FR almacenados en la data de factor de riesgo, ver sección 1.2.. La figura 1.3 describe, por medio de diagrama de flujo el proceso de asignación por el enfoque detallado.

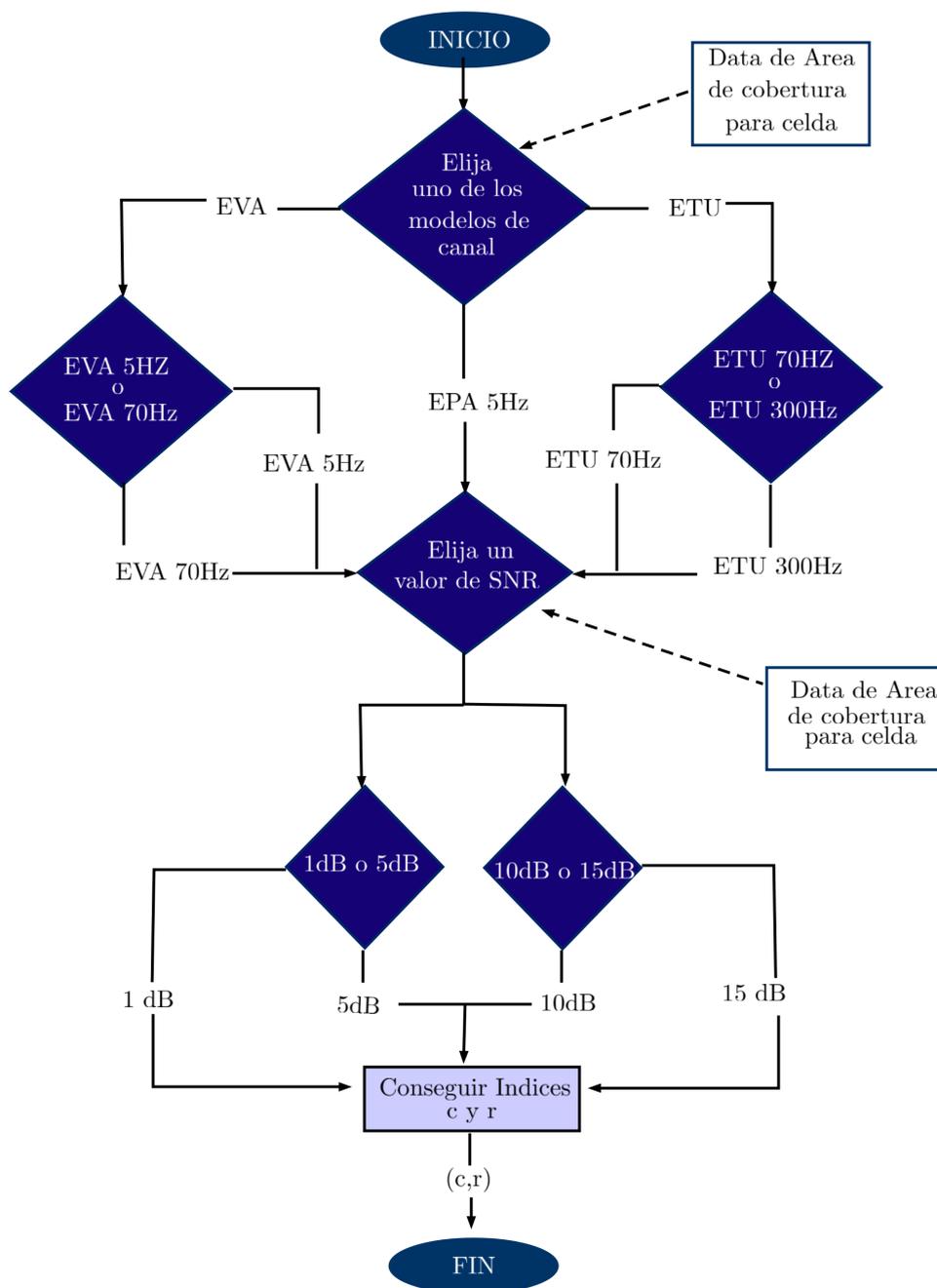


Figura 1.3: Proceso de enfoque detallado.

1.1.1.2. Proceso de enfoque general

En este proceso el operador del método puede:

1. No especificar el nivel de SNR para la celda pero si hacerlo para el modelo del canal LTE.
2. No especificar el modelo del canal LTE pero si hacerlo para el nivel de SNR de la celda

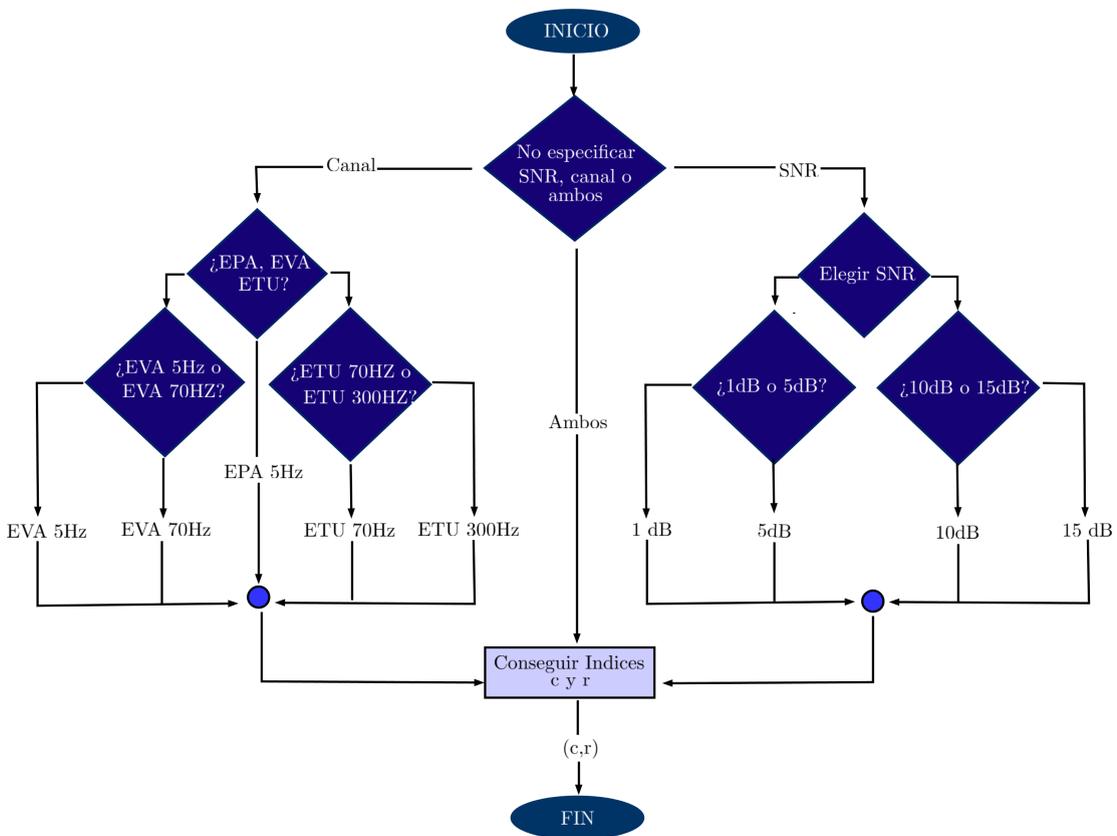


Figura 1.4: Proceso de enfoque general.

Por ultimo hallara los índices c y r según el caso escogido. Ver **Tabla 1.2**.

Tabla 1.2: Tabla de parámetros de elección por el operador para el enfoque detallado.

Indice (c,r)	Modelo del Canal	Frecuencia Doppler	SNR
1,5	EPA	5Hz	No Especificado
2,5	EVA	5Hz	No Especificado
3,5	EVA	70Hz	No Especificado
4,5	ETU	70Hz	No Especificado
5,5	ETU	300Hz	No Especificado
6,1	No Especificado	No Especificado	1dB
6,2	No Especificado	No Especificado	5dB
6,3	No Especificado	No Especificado	10dB
6,4	No Especificado	No Especificado	15dB
6,5	No Especificado	No Especificado	No Especificado

1.1.2. Proceso de verificación y asignación

En el proceso de verificación resumido es reflejado en la figura 1.5, el operador del método deberá:

1. Escoger de la data de Factor de Riesgo la matriz $FR^{(c|r)}$, donde c y r son los índices, hallados en los procesos previos.
2. Si es la primera celda de la planificación, puede escogerse cualquier PCI, de lo contrario:
 - a) Determinar si para la matriz $FR^{(c|r)}$ existe algún PCI nuevo tal que $FR(PCI_{nuevo}, PCI_{asignado})$ sea de bajo y también $FR(PCI_{asignado}, PCI_{nuevo})$ sea bajo, para todo PCI asignado.
 - b) Sino, determinar si para la matriz $FR^{(c|r)}$ existe algún PCI nuevo tal que $FR(PCI_{nuevo}, PCI_{asignado})$ sea bajo o medio y además $FR(PCI_{asignado}, PCI_{nuevo})$ sea bajo o medio, para todo PCI asignado.
 - c) En caso que los puntos anteriores sean descartados, pasar al proceso de reutilización (Ver sección 1.1.2.1.)
3. De existir algún PCI nuevo valido el operador puede asignarlo a la celda, y anotarlo en la lista de PCI asignados.

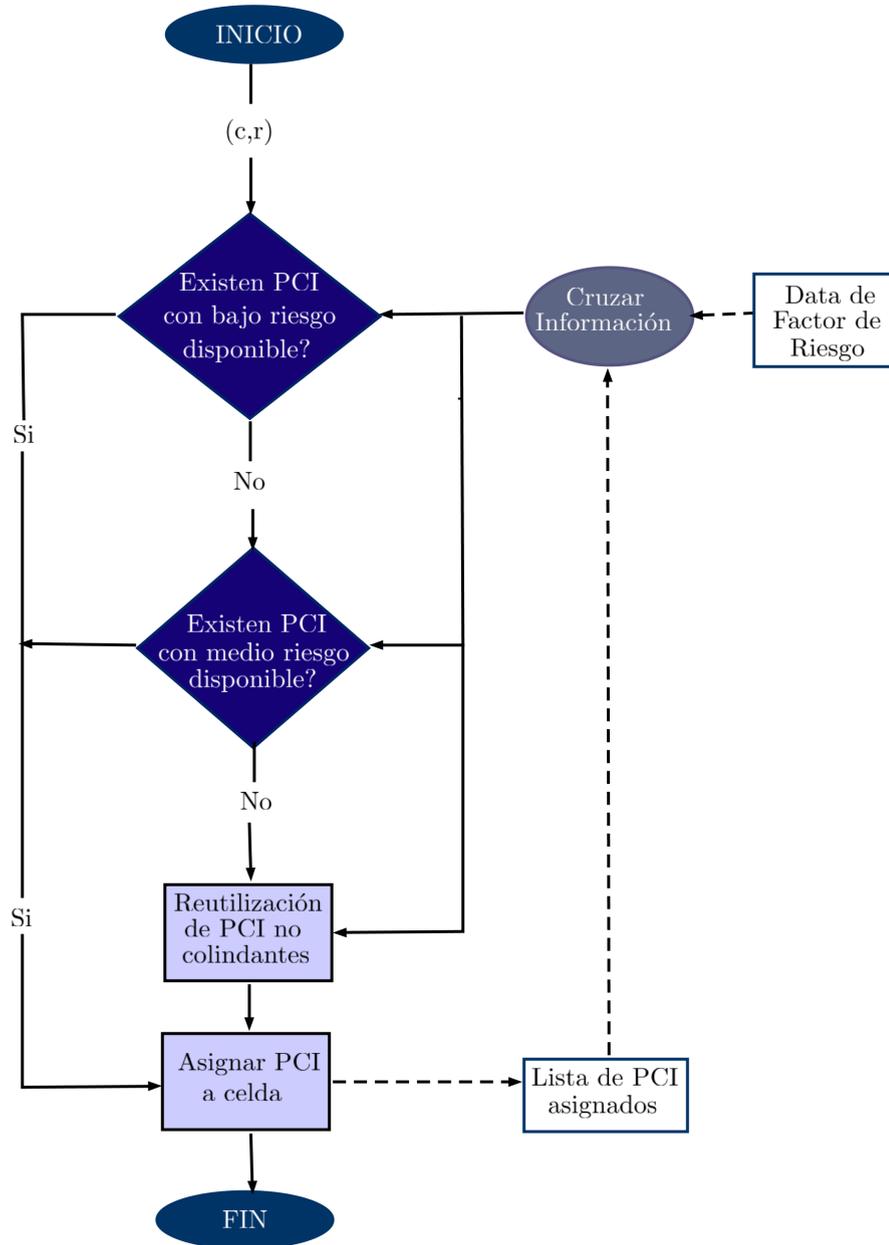


Figura 1.5: Proceso de verificación y asignación.

La figuras 1.6 muestra el proceso de comprobación y verificación de manera más detallada.

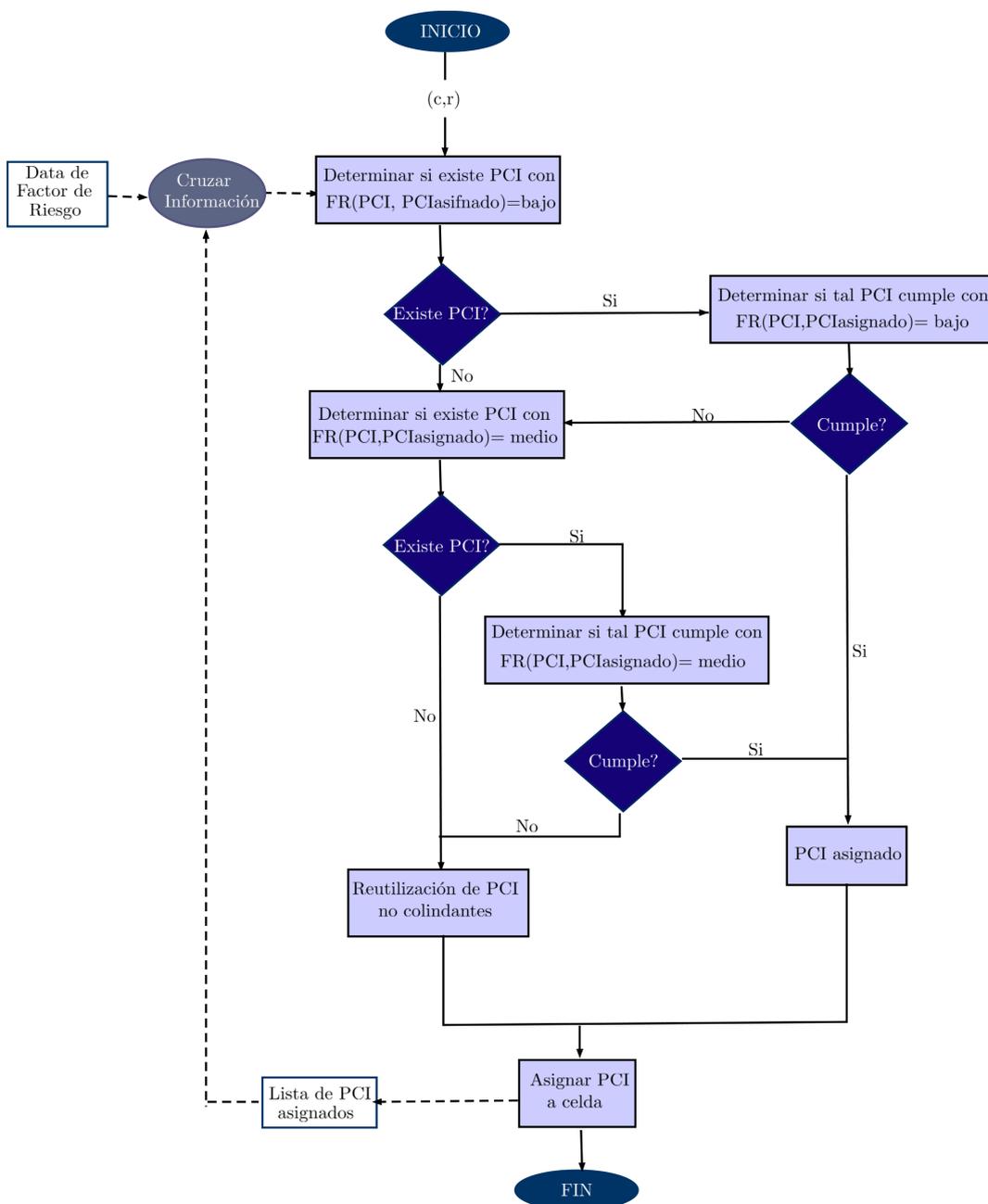


Figura 1.6: Proceso de verificación y asignación de forma detallada.

Esta comprobación debe realizarse, de manera que en todo momento de la metodología de asignación se cumpla que los N PCI asignados tengan FR directos e inversos menores a 2, es decir los PCI asignados sean de bajo riesgo o en sus efectos

un medio riesgo.

Para la primera celda, no se hacen comprobaciones de FR. Para dos celdas se hacen 2 comprobaciones, $FR(a,b)$ y su inverso $FR(b,a)$, de cumplir con la condición, el PCI B se considerara valido para la asignación a la celda 2. Lo Expuesto se muestra en la figura 1.7.

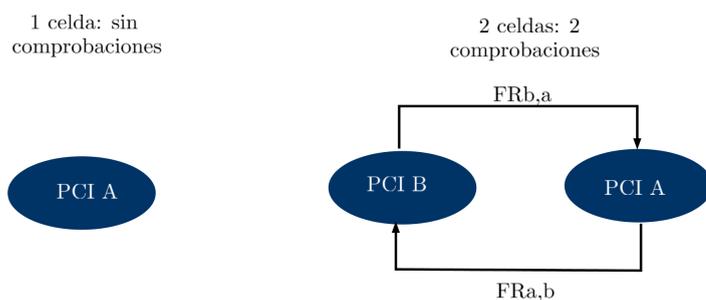


Figura 1.7: Comprobaciones para 1 y 2 celdas.

Para tres celdas se realizan 4 comprobaciones, es decir 2 nuevas sumadas a las 2 anteriores. Ver figura 1.8.

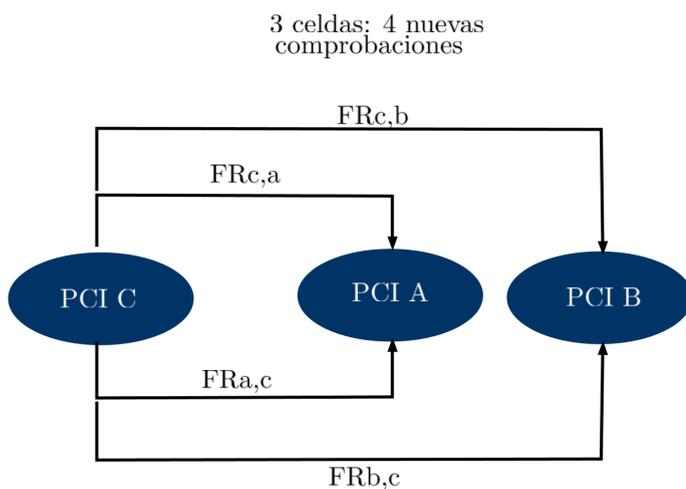


Figura 1.8: Comprobaciones para 3 celdas.

Para asignar PCI a 4 celdas se realizarán un total de 10 comprobaciones, 6 nue-

vas más las 4 anteriores, como se describe en la figura 1.9.

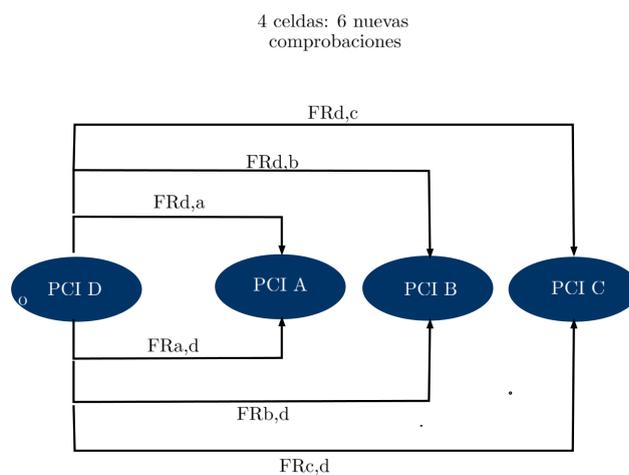


Figura 1.9: Comprobaciones para 4 celdas.

Por lo tanto, ver figura 1.10, para la asignación de N celdas se realizarán:

$$\text{ComprobaciónFR} = \sum_{i=1}^N 2 * (i - 1)$$

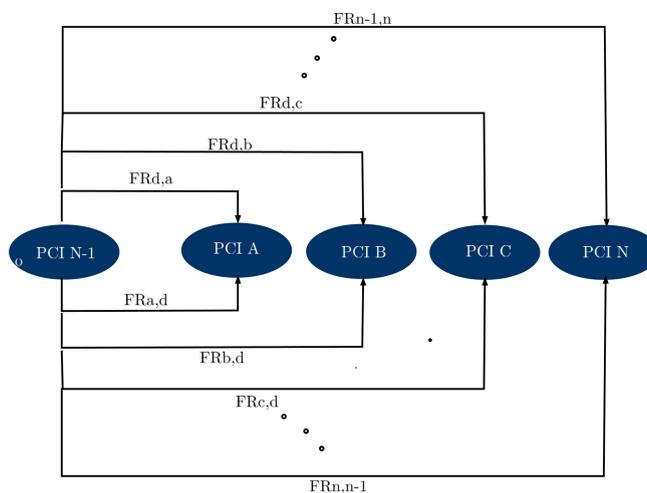


Figura 1.10: Comprobaciones para N celdas.

Obteniendo que al final del proceso de asignación de PCI se habrá hecho una permutación de comprobación para todas las celdas tal como se describe en la figura 1.11.

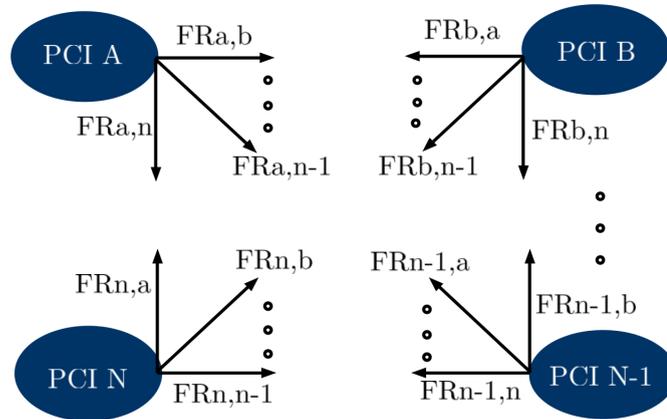


Figura 1.11: Permutación de comprobación para todas las celdas.

1.1.2.1. Proceso de reutilización:

En el proceso de reutilización de PCI, el operador de la metodología deberá:

1. Verificar las celdas vecinas a la celda actual y sus respectivos PCI.
2. Aplicar el paso 2.b) y en su defecto el 2.c) del proceso de verificación y asignación (ver sección 1.1.2.), únicamente con los PCI que no pertenecen a celdas vecinas.
3. Si se halla un PCI valido mediante los pasos anteriores, escoger ese PCI para ser enviado luego al proceso de asignación.

Cuando no se halle ningún PCI valido a través de los pasos anteriores la asignación se dará por inviable, debido a que solo quedaran PCI con FR de alto riesgo para asignar. El método completo de asignación de PCI por FR deberá repetirse, o retrocederse en varias asignaciones de PCI previas. El diagrama de la figura 1.12 bosqueja el proceso de reutilización.

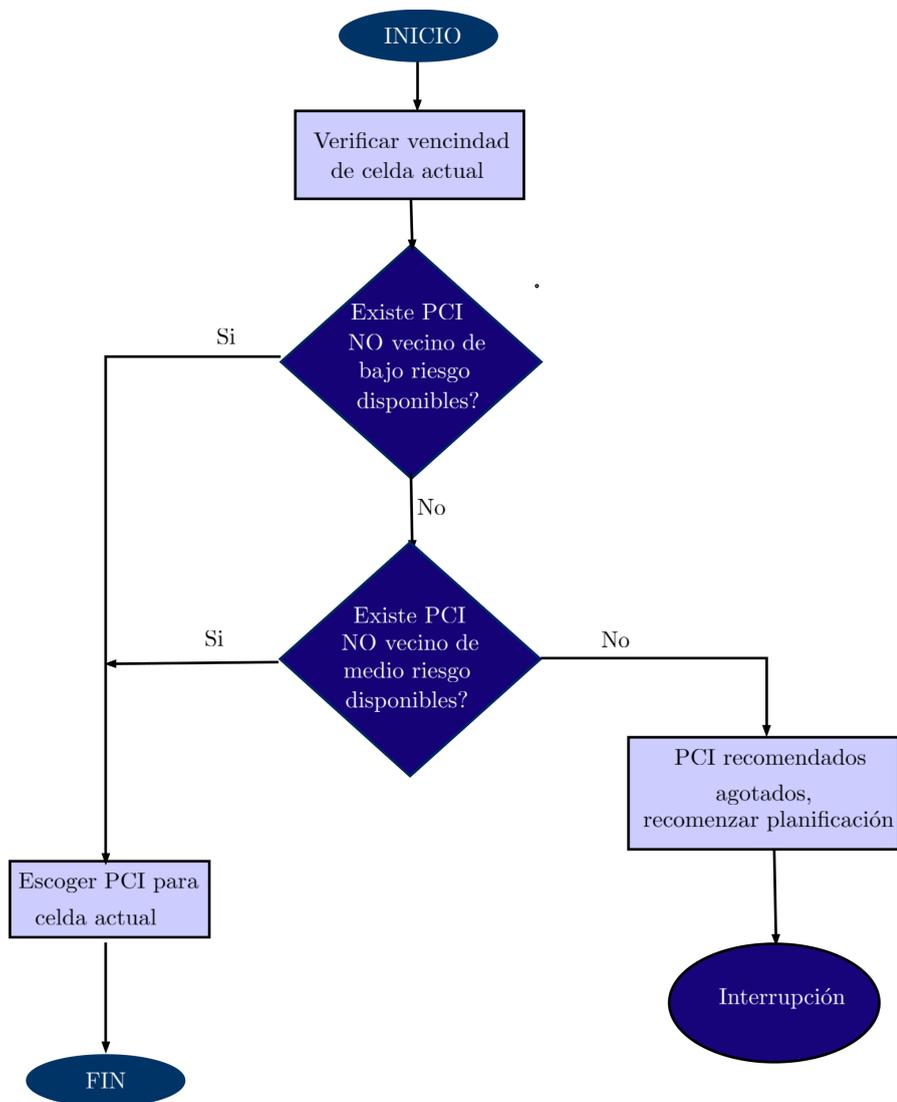


Figura 1.12: Proceso de reutilización.

1.2. Base de datos

La base de datos generada, consiste en una serie de matrices con relaciones escalares entre los PCI para diversas condiciones de propagación, está diseñada para ser usada conjuntamente con la metodología presente en este documento.

1.2.1. Estructura de la data

Para cada valor de la matriz de Factor de Riesgo (FR), cada valor $FR(PCI_a, PCI_b)$ representa:

Para una celda con un PCI_a asignado anteriormente, existirá un bajo (0), medio (1) o alto (2) riesgo de ocurrencia de problemas debido a el PCI, si a una celda cercana se le asigna un PCI_b .

Entonces si se tiene:

$$FR(PCI_a, PCI_b) = 0 \quad (1.2)$$

Implica que existe un bajo riesgo para el UE de detectar un PCI_b erróneamente cuando se recibe un PCI_a , esto se denomina FR directa de PCI_a con PCI_b , o de forma equivalente FR inversa de PCI_b con PCI_a , de igual forma:

$$FR(PCI_b, PCI_a) = 1 \quad (1.3)$$

Quiere decir que existe un riesgo medio de que el UE detecte erróneamente el PCI_a , cuando el que se recibe es el PCI_b . Esto se denomina FR directa de PCI_b con PCI_a , o de forma equivalente FR inversa de PCI_a con PCI_b .

El primer término representa una celda ya establecida anteriormente y con un PCI asignado, y el segundo una celda nueva esperando a la asignación de PCI.

La matriz numérica puede ser visualizada en colores descriptivos para facilitar al operador el uso del método de asignación de PCI mediante FR (ver **Tabla 1.3**).

Tabla 1.3: Relación de colores para el FR.

Valor Numerico	Color	Nivel de Riesgo
0	Verde	Bajo
1	Amarillo	Medio
2	Rojo	Alto

Para cada matriz de FR existirán 504x504 Factores de riesgo entre PCI. Ver figura 1.13.

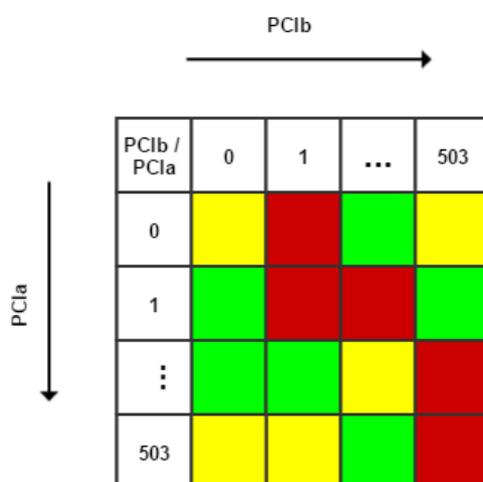


Figura 1.13: Matriz del FR.

Debido al criterio de diseño es importante tener en cuenta que:

$$FR(i, a) = FR(a, i) \tag{1.4}$$

De esto se entiende que una matriz de FR no es simétrica, y $FR(a,i)$ representa el factor de riesgo de PCI_a con todos los demás PCI, es decir el factor de riesgo visto desde la celda con el PCI_a . Este corresponde a la fila "a" para todas las columnas, mientras $FR(i,a)$ será el factor de riesgo de los i PCI con a, es decir el factor de riesgo visto desde las celdas, que corresponde a todas las filas para la columna "a".

La cantidad de matrices será igual a las distintas condiciones de propagación para las cuales se calculó el FR, las cuales fueron 5 modelos de canal LTE y 4 niveles de SNR, pero además son incluidas también las matrices promedio para niveles de SNR cuando se deja sin especificar, las matrices promedio para canales cuando este parámetro se deja sin especificar, y la matriz promedio general entre todos los canales y SNR dando un total de 30 matrices. Ver figura 1.14y figura 1.15.

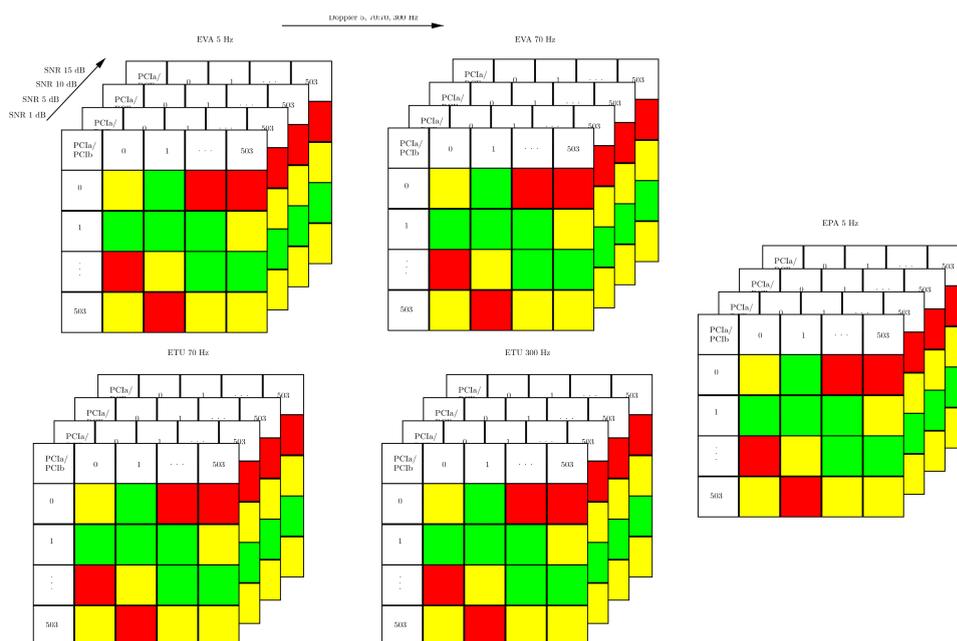


Figura 1.14: Matrices del FR para todos los valores de SNR y modelos de canales estudiados.

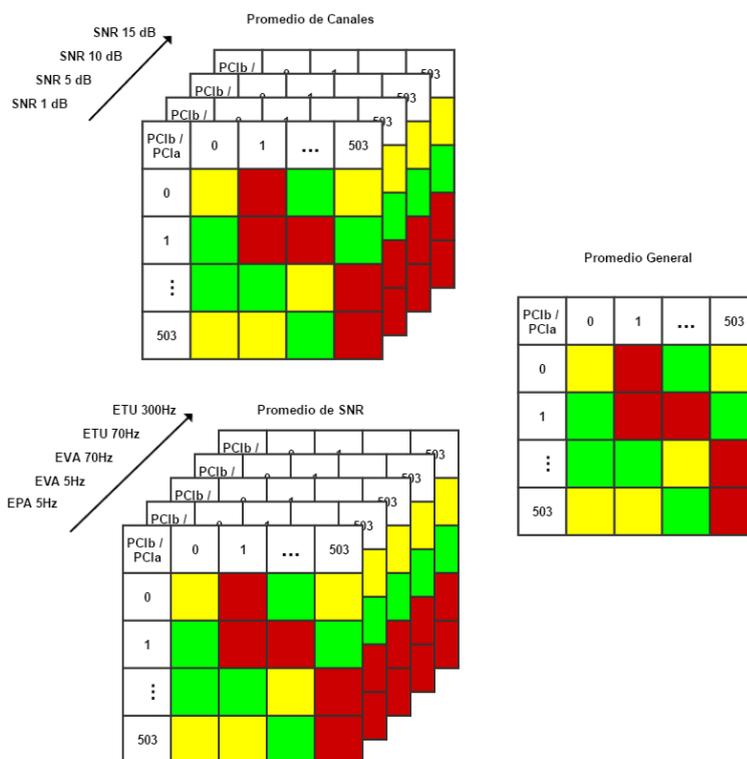


Figura 1.15: Matrices promedio del FR cuando se deja sin especificar valores de SNR y modelo del canal y matriz promedio general entre todos los canales y valores de SNR .

Para diferenciar las matrices se usara la nomenclatura $FR^{(c|r)}$, donde los índices c y r son el número de modelo de canal LTE y r el numero de que representa el nivel de SNR. La **Tabla 1.4** y **Tabla 1.5** muestran los modelos de estudios para los cuales fue realizado el estudio.

Tabla 1.4: Índice c para cada modelo de canal utilizado.

Índice c	Modelo del Canal
1	EPA 5Hz
2	EVA 5Hz
3	EVA 70Hz
4	ETU 70Hz
5	ETU 300Hz
6	No Especificado

Tabla 1.5: Índice r para cada nivel de SNR.

Índice c	Modelo del Canal
1	1dB
2	5dB
3	10dB
4	15dB
6	No Especificado

1.3. Cálculo del FR

Las matrices de FR son producto de la información procedente de un bloque correspondiente a una batería de métodos típicos de detección de PCI y un bloque correlativo de señales piloto. Y luego bajo un criterio de diseño fue mezclada y clasificada en una escala ascendente de riesgo.

El parámetro FR, en términos generales, es una medida del riesgo del conflicto que la asignación de un par de PCI puede ocasionarle a dos celdas, repercutiendo también en conflictos y errores para el UE.

Para lograr la obtención del factor de riesgo final, fue necesaria la creación de 2 nuevos términos:

1. Con el estudio de métodos de detección de PCI correspondiente, fue estimada la probabilidad de cuando la celda irradie su señal conteniendo un PCI_a , el UE efectivamente detecte el PCI_a , a esto le llamaremos de ahora en adelante autoprobabilidad, denotado como $\text{prob}(PCI_a, PCI_a)$, también se calculó la probabilidad que para un PCI_a transmitido por una celda, el UE ubicado en el área de cobertura de dicha celda no detecte el PCI_a sino que detecte un PCI_b transmitido por otra celda cercana, siendo PCI_b cualquier PCI distinto de PCI_a y se denotará como $\text{prob}(PCI_a, PCI_b)$. La función prob tendría un tamaño de 504×504 , debido a la comparación de cada uno de los 504 PCI. Se obtuvo una función prob para cada variación de las condiciones de propagación consideradas, en total 20 funciones prob .
2. Fueron generadas también 20 funciones corr , donde estas son producto del análisis puramente correlativo sobre las señales de sincronización secundaria para las correlaciones de PCI en función de los modelos de canal y del SNR, esto es, la medición de la correlación existente entre la señal S-SCH con PCI_a distorsionada recibida por el UE y una S-SCH con PCI_a sin perturbaciones, a esto se le conoce como autocorrelación, se denota como $\text{corr}(PCI_a, PCI_a)$. Por otro lado, a la medición de la correlación percibida entre un PCI_a distorsionado recibido y un PCI_b sin perturbaciones, siendo PCI_b cualquier PCI distinto de PCI_a y se denotará como $\text{corr}(PCI_a, PCI_b)$.

Se disponen de las funciones prob para ser transformadas siguiendo el siguiente criterio:

$$\text{prob}(PCI_a, PCI_b) = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{prob}(PCI_a, PCI_b) < 0.9 * \text{prob}(PCI_a, PCI_a) \\ 1 & \text{si } \text{prob}(PCI_a, PCI_a) > \text{prob}(PCI_a, PCI_b) \geq 0.9 * \text{prob}(PCI_a, PCI_a) \\ 2 & \text{si } \text{prob}(PCI_a, PCI_b) \geq \text{prob}(PCI_a, PCI_a) \end{cases} \quad (1.5)$$

Lo que se traduce como:

Nivel de Riesgo	Condición	Interpretación
Bajo	$\text{prob}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) < 0.9 * \text{prob}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a)$	El UE detectará correctamente la gran mayoría de las veces el PCI_a sin importar que exista una celda cercana transmitiendo un PCI_b .
Medio	$\text{prob}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a) > \text{prob}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) \geq 0,9 * \text{prob}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a)$	El UE detectará correctamente la mayoría de las veces el PCI_a sin importar que exista una celda cercana transmitiendo un PCI_b .
Alto	$\text{prob}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) \geq \text{prob}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a)$	El UE detectará erróneamente la gran mayoría de las veces un PCI_b , a pesar que la celda en la que se encuentre ubicado envíe el PCI_a , esto debido a una celda cercana transmitiendo un PCI_b .

Se disponen de las funciones *corr* para ser transformadas siguiendo el siguiente criterio:

$$c\ddot{o}rr(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) < \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a) \\ 1 & \text{si } \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a) > \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) \geq 0,9 * \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a) \\ 2 & \text{si } \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) \geq \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a) \end{cases} \quad (1.6)$$

Lo que indicaría:

Nivel de Riesgo	Condición	Interpretación
Bajo	$\text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) < \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a)$	Existirá una baja relación o parecido entre el PCI_a y el PCI_b , lo que representa un buen indicio para asignar celdas vecinas con estos PCI.
Medio	$\text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a) > \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) \geq 0,9 * \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a)$	Existirá una moderada relación o parecido entre el PCI_a y el PCI_b , lo que representa un modesto indicio para asignar celdas vecinas con estos PCI.
Alto	$\text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_b) \geq \text{corr}(\text{PCI}_a, \text{PCI}_a)$	Existirá una fuerte relación o parecido entre el PCI_a y el PCI_b , pudiendo traer como consecuencia lecturas erróneas para el UE entre una celda que tiene PCI_a con otra celda vecina que tiene un PCI_b .

De esta manera se clasificaron los diversos valores numéricos de probabilidades y correlaciones distintos en estas nuevas funciones pröb y cörr las cuáles serán de importancia para la construcción de la función o matriz Factor de Riesgo.

Finalmente para la elaboración del FR se asignó un mayor peso o influencia a la función pröb debido a que esta representa un indicador más riguroso que la función cörr acerca de la dinámica existente entre dos PCI.

$$\text{FR} \begin{cases} 0 & \text{si } \text{pröb} = 0 \wedge \text{cörr} = 0 \text{ ó } 1 \\ 1 & \text{si } (\text{pröb} = 1, \text{cörr} = 1 \text{ ó } 2) \vee (\text{pröb} = 0 \wedge \text{cörr} = 2) \\ 2 & \text{si } \text{pröb} = 2 \vee (\text{pröb} = 1 \wedge \text{cörr} = 2) \end{cases} \quad (1.7)$$

1.4. Historia

Fecha	Comentario	Versión
Noviembre 2.016	Borrador creado	V0.0
Diciembre 2.016	Versión Definitiva/publicación	V1.1

Referencias Bibliográficas

- [1] CONATEL. «Resultado de encuesta. Calidad de Servicio de Telefonía.» En: 2014.
- [2] Jorge Vera Martinez. «Atributos de calidad del servicio de la telefonía móvil para clientes mexicanos y su impacto en la satisfacción y en la lealtad hacia la marca.» En: (2013).
- [3] Oriol Sallent Roig ; Jose Luis Valenzuela Gonzalez ; Ramon Agusti Comes. *Principios de comunicaciones móviles*. Politext 151, 2003.
- [4] Boixaeru Editores. *Telecomunicaciones Móviles*. Marcombo, 1998.
- [5] *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation. TS 36.211 version 10.0.0 Release 10*. 3rd Generation Partnership Project (3GPP).
- [6] Rocio Acedo; Matias Toril; Salvador Luna; Nizar Faour. *Computer Networks*. Volumen 76, 2015.
- [7] *PCI conflict reporting*. Inf. téc. ERICSSON, 2012.
- [8] Zaid Matloub; Ivica Kostanic. «Methodology for the Physical Cell Identity Assignment in LTE Networks.» En: (2013).
- [9] Ali Murtadha; Pahwa Kuldip; Sinha H. P. «Mobile Cell Selection In 4G Long Term Evolution-Advanced (LTE-A) Networks.» En: *American Journal of Engineering Research (AJER)* e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-03, Issue-05, pp-139-150 (2014).
- [10] Narcis Cardona; Juan Jose Olmos; Mario Garc Jose F. Monserrat. *3GPP LTE: Hacia la 4G móvil*. Marcombo, 2011.

- [11] Yague David. «Algoritmos de Sincronizacion en LTE». Tesis doct. Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politecnica Superior, 2015.
- [12] *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation. TS 36.211 version 11.4.0 Release 11*. 3rd Generation Partnership Project (3GPP).
- [13] Chirs Johnson. *Lon Term Evolution 2nd Edition*. 2010.
- [14] Ramon Agusti; Francisco Bernardo; Fernando Casadevall; Ramon Ferrus; Jordi Perez-Romero; Oriol Sallent. *LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles*. Vodafone, 2010.
- [15] Roberto P. Bachmann F. «Evaluacion Tecnica de la Configuracion y Arquitectura de LTE, como Evolucion de UMTS». Tesis doct. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniria, 2010.
- [16] Jesus Jimenez. «Planificacion Radioelectrica de una red LTE». Tesis doct. Universidad de Sevilla, Escuela Tecnica Superios de Ingenieria, 2014.
- [17] Emilio Lopez A. «Simulacion de MIMO-OFDM en el downlink de LTE». Tesis doct. Universidad Calor III de Madrid, Departamento de Teore la Senal y Comunicaciones, 2013.
- [18] Daniel Castano del Castillo. «Estudio de la modulaciDM y de los efectos no lineales mediante simulacion». Tesis doct. Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros, 2008.
- [19] Konstantinos Manolakis; David Manuel Gutierrez Estevez; Volker Jungnickel; Wen Xu; Christian Drewes. «A Closed Concept for Synchronization and Cell Search in 3GPP LTE Systems». En: *IEEE Communications Society* (2009).
- [20] Nalini Paravastu Samavedam. «Mobile Cell Search and Synchronization in LTE». Tesis doct. Faculty of San Diego State University, 2011.
- [21] Yue Li Jingjie Yu Mugen Peng. «A Physical Cell Identity Self-Organization Algorithm in LTE-Advanced Systems». En: *7th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)* (2012).
- [22] Moray Rummey. *LTE and the Evolution to 4G Wireless*. Ed. por Wiley. Agilent Techologies, 2010.

-
- [23] Stefania Sesia; Issam Toufik; Matthew Baker. *LTE The UMTS Long Term Evolution. From Theory to Practice*. Wiley, 2011.
- [24] C. Meguillem T. Rappaport. *Wireless Communications*. Ed. por Prentice Hall. 1996.
- [25] *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception. TS 36.104 version 11.2.0 Release 11*. 3rd Generation Partnership Project (3GPP).
- [26] G. David Forney. «Maximun-Likelihood Sequence Estimation of Digital Sequences in the Presence of Intersymbol Interference». En: *IIE Transactions on Information, Vol. IT-18, No. 3* (1972).
- [27] Anuj Sharma Lokendra Singh. «Compressive Modulation In Digital Communication Using QPSK». En: *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) Volume 13 Number 5* (2014).