

Capítulo 2.

Introducción a WCDMA

Para entender de manera correcta la tecnología de acceso al medio de UMTS, WCDMA, es necesario tratar ciertos puntos de interés de manera general, con el firme objetivo de poder aplicarlos dentro de una descripción más detallada y específica.

Aspectos como lo son técnicas de modulación digitales, códigos existentes en UMTS y los procesos como el esparcimiento (spreading), la canalización (channelization), el scrambling y la codificación son indispensables para entender el manejo de los datos a través de las tres primeras capas dentro de un pila de protocolo basado en el modelo OSI. Como se explicará en el capítulo 2, WCDMA se basa para su descripción, en un protocolo formado por varias capas, cada una con diferentes funciones y servicios, con interfaces para comunicarse entre ellas y con una serie de procesos para conseguir la comunicación entre móviles (transferencia de voz y datos) en una red celular de tercera generación.

El proceso combinado de Esparcimiento/Modulación en el manejo de los datos en la capa 1 sigue un orden en el que primero intervienen los códigos de canalización, en seguida actúan los códigos de scrambling y por último la modulación de los datos [15].

Es por ello que se seguirá dicho orden para la explicación de los conceptos en orden de dar una secuencia lógica, para finalizar con la codificación de los canales en UTRAN.

2.1 Spreading.

El término spreading (extendido) significa aumentar el ancho de banda más allá del ancho de banda requerido por una señal para acomodar la información [1]. La figura 4 muestra el proceso de esparcimiento para la transmisión de una señal en banda base, así como el proceso inverso. Se pueden apreciar además, algunos de las interferencias más comunes en un canal de comunicación de un sistema celular.

CDMA utiliza códigos de extendido únicos para lograr extender el ancho de banda de los datos en banda base antes de la transmisión. La señal es transmitida en un canal con un nivel bajo de ruido. En el receptor se utiliza el mismo código para recuperar la señal original la cual pasa por un filtro pasa banda. Las señales no deseadas no serán recuperadas y no pasarán el filtro pasa banda. Los códigos de extendido tienen la forma de una secuencia de unos y ceros diseñada cuidadosamente, de tal manera que la velocidad de estos códigos es mucho mayor (por lo menos el doble) que la velocidad de los datos en banda base. La velocidad de un código de extendido es llamada velocidad de chip en vez de velocidad de bit. [16]

Las ventajas de una señal de espectro extendido sobre otra en banda base son la seguridad, la resistencia a la interceptación, resistencia al desvanecimiento multiruta y son capaces de soportar las técnicas de acceso múltiple. [15]

El proceso de extendido consiste de dos operaciones para UTRAN, la canalización y la revoltura. De la misma forma, en UTRAN se utilizan dos familias de códigos de extendido los cuales tienen diferentes propiedades: los códigos ortogonales y los códigos de pseudo ruido [1]. Más adelante se explicará el proceso de extendido en UTRAN, ahora sólo se presentó de manera general dicho procedimiento.

2.2 Técnicas de modulación de espectro extendido.

La información puede ser modulada en una señal de espectro extendido por muchos métodos. Esta modulación puede ser de fase o de frecuencia, o una combinación de estos dos esquemas. Cuando el extendido del espectro se realiza por una modulación de fase, se le llama señal de espectro extendido de secuencia directa. Cuando el extendido del espectro se obtiene por un cambio rápido en la frecuencia de la portadora se le llama señal de espectro extendido por salto de frecuencia. Otra forma de obtener una señal de espectro extendido es mediante el salto en el tiempo, en este caso, el tiempo de transmisión es dividido en intervalos llamados “tramas”. Cada trama es dividida después en ranuras de tiempo. [15]

En la red de acceso de radio de UMTS (UTRAN) se utiliza la técnica de DS-CDMA. [15]

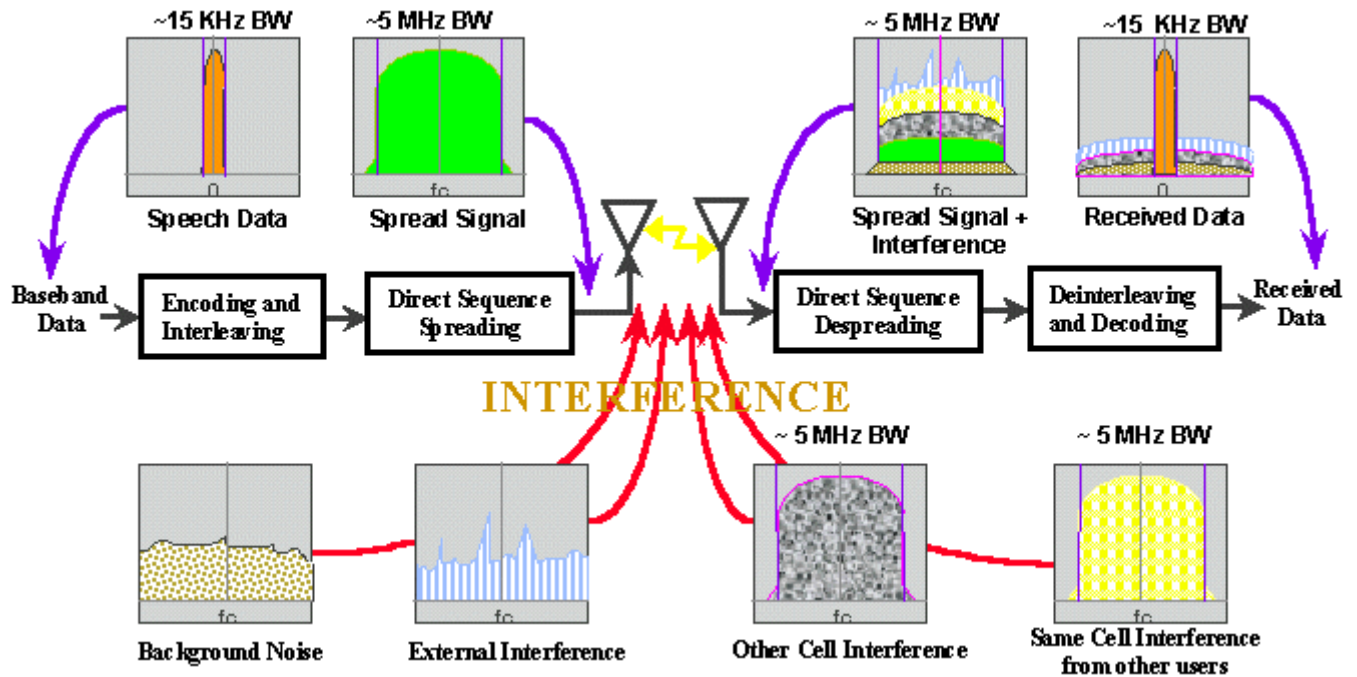


Figura 4. Proceso de extendido. [16]

2.3 Códigos de extendido.

Como se mencionó en la sección anterior, en un transmisor DS-CDMA la señal de información es modulada por un código de extendido (con el objetivo de hacerla una señal con un ancho de banda extendido) y en el receptor la señal original es recuperada con un replica del mismo código.

Extender el espectro como primera idea no suena muy bien, ya que el espectro de RF es muy solicitado y cada vez es más escaso, por tanto, incrementar el ancho de banda

se puede convertir en un recurso muy caro. Sin embargo, existen algunas razones para creer que esto puede ser una buena opción. Una de ellas es que una señal con un ancho de banda amplio, es más resistente contra la interferencia y puede sobrevivir en un ambiente de mucho ruido. Es muy difícil de interceptar ya que el nivel de energía que contiene la señal se reparte en todo el ancho de banda haciéndola difícil de ubicar. Permite el acceso múltiple. Brinda privacidad y la protege contra la interferencia multicarrier. [1]

Los códigos de extensión (traducción del término en inglés spreading codes) son llamados con frecuencia secuencias de extensión. Para la red UTRAN existen dos tipos de códigos de extensión en su interfaz aérea: los códigos ortogonales y los códigos de ruido pseudo (PN-Pseudo noise). Ambos son usados tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada. [12]

2.4 Códigos ortogonales.

Los códigos ortogonales son aquellos que en un ambiente ideal no interfieren unos con otros. Para lograr esto los códigos deben estar sincronizados en tiempo. Por lo tanto pueden ser utilizados en el enlace de bajada para separar diferentes usuarios de una misma célula, pero en el enlace de subida, sólo pueden separar servicios de un solo usuario. No se pueden utilizar para separar diferentes usuarios de la misma célula, debido a que los móviles no se encuentran sincronizados en tiempo unos con otros y por tanto sus códigos no pueden ser ortogonales (con la excepción de que el sistema este utilizando el modo TDD con su enlace de subida sincronizado). Además los códigos ortogonales no

se pueden utilizar en el enlace de bajada entre estaciones base. La razón es que existe un número limitado de códigos ortogonales, los cuales deben ser reutilizados en cada célula lo que puede ocasionar que un UE pueda recibir el mismo código de dos estaciones base diferentes al mismo tiempo cuando éste se encuentre en los límites de la misma. Uno de estos códigos está dirigido al UE y el otro a otro usuario. Si se utilizara un solo código ortogonal, esta señal podría interferir con otra de manera severa. Sin embargo, en el enlace de subida las señales de un solo usuario están sincronizadas en tiempo, lo que permite que los códigos sean ortogonales y se puedan separar los canales del mismo usuario. [1]

En el enlace de bajada, el mismo árbol de códigos ortogonales es utilizado por la estación base para todos los móviles en esa célula. Un manejo cuidadoso es necesario para que una estación base no utilice otros códigos de canalización [1]. Esto es porque los códigos de canalización se utilizan en el enlace de bajada para separar conexiones de diferentes usuarios en la misma célula [15]. Los códigos de canalización se explican en la sección 1.6.

La transmisión en el enlace de bajada de estaciones base separadas no es ortogonal, así que el UE debe distinguir primero a la estación base correcta mediante el código de scrambling y en seguida de la señal correcta extraer los datos utilizando los códigos de canalización. En conclusión, en el mundo real el enlace de bajada nunca será completamente ortogonal ni libre de ruido. [1]

2.5 Códigos de Pseudo ruido.

Los códigos ortogonales no podrían realizar las funciones de extendido por sí solos en la interfaz aérea de UTRAN. Como se mencionó en la sección anterior, sólo pueden ser utilizados cuando las señales a las que se aplica están sincronizadas. Lo cual no sucede con los usuarios que no tienen sincronía en el enlace de subida. Algo más es necesario, debido a que si se utilizan los códigos ortogonales en el enlace de subida, éstos se cancelarían fácilmente, y sólo se pueden utilizar dentro de una sola estación base. Para solucionar este problema se requieren los códigos de pseudo ruido, los cuales son utilizados en la segunda parte del proceso de extendido la cual se llama revoltura (traducción del término en inglés scrambling). [1]

En el proceso de revoltura, la señal es multiplicada por la función XOR con los códigos de revoltura de pseudo ruido. Estos códigos de revoltura pueden ser códigos largos (códigos dorados con periodos de 10 ms) o códigos cortos (códigos S(2)). Estos códigos de pseudo ruido tienen una muy buena auto correlación. La auto correlación mide la correlación entre la señal y la versión de la misma que ha sido retardada en tiempo. Así que si la señal recuperada en el receptor es multiplicada por el código de pseudo ruido que la generó, una buena auto correlación se debe encontrar si es la señal correcta. Para esto, la señal fue modulada usando el mismo código de pseudo ruido en el transmisor. Esta propiedad puede utilizarse para la secuencia de sincronización inicial y para separar los componentes generados por las diferentes rutas que sigue una señal al encontrarse distintos obstáculos en su camino. [1]

Existen muchos códigos de pseudo ruido disponibles en el enlace de subida, así que no se necesita un manejo cuidadoso de ellos. Esto se refiere a que no existen problemas de sincronía ni de cancelación entre ellos. Un código de extendido, identifica a un UE a una estación base específica. [1]

En el enlace de bajada, los códigos de revoltura son utilizados para reducir la interferencia entre estaciones base, ya que cada Nodo B tiene sólo un código de revoltura primario y el UE puede utilizar esta información para separar las estaciones base. Existe 512 códigos de revoltura primarios en el enlace de bajada, éstos se dividen en 64 grupos y cada uno consiste de 8 códigos. El propósito de estos grupos es mejorar el proceso de sincronización. [1]

Las especificaciones también definen códigos de revoltura secundarios. Cada uno de los códigos primarios contiene 16 códigos secundarios. Una posible aplicación de los códigos secundarios es en células sectorizadas, donde para separar sectores los códigos no pueden ser ortogonales entre ellos. [1]

2.6 Códigos de canalización.

Los códigos de canalización son tanto para el enlace de subida como para el enlace de bajada, códigos ortogonales con factor de extendido variable (OVSF). Estos códigos conservan las propiedades de ortogonalidad entre los canales físicos de diferentes

usuarios [15]. La creación de dichos códigos se basa en un algoritmo el cual produce árboles de códigos en donde cada nivel define un código de canalización con longitud SF, ver figura 5. En UTRAN se utiliza el SF de 4 a 512 en donde del 4 al 256 se utilizan en el enlace de subida, y el 512 es añadido en el catalogo de SF para el enlace de bajada. Un SF de 4 (que es un SF muy bajo, el más bajo que puede utilizar UTRAN) por ejemplo, significa que por cada dato de la señal existen cuatro chips en el código de extendido, y que el ancho de banda de la señal resultante es cuatro veces mayor que el original [1]. Todos los códigos dentro del árbol de códigos no pueden ser utilizados al mismo tiempo dentro de una célula, esto debido a que se puede utilizar un código en una célula si y solo si este no pertenece a la misma ruta hacia la raíz de árbol de otro código previamente en uso. Es decir, dos códigos que pertenecen a la misma ruta no se pueden utilizar simultáneamente, lo que se traduce en un número limitado de códigos de canalización dependientes de la velocidad y el SF de cada canal físico. [15]

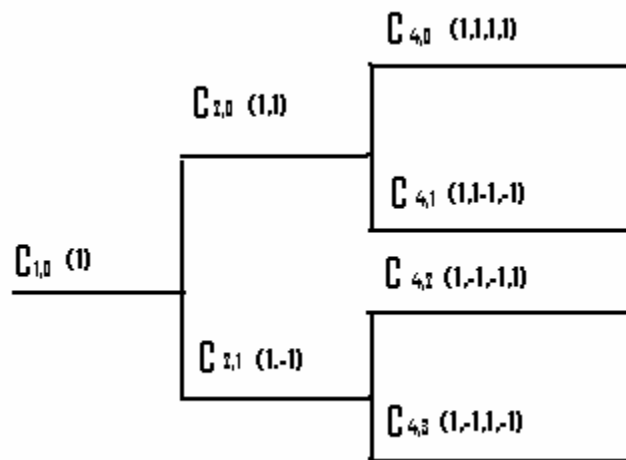


Figura 5. Árbol de códigos de canalización.

Cuando se realiza el proceso de recuperación con el código correcto la señal original se obtiene, así como el ancho de banda inicial. Un código erróneo da como

resultado ruido en el proceso de recuperación aunque se espera que en un sistema completamente ortogonal, dicho ruido no exista, ya que la salida del integrador es cero en cada instante. De la misma forma el control de potencia no sería necesario si se cumpliera esta condición. Sin embargo, esto no se da en la práctica, siempre existe ruido en el sistema y es necesario un control de potencia para reducirlo. [1]

2.7 Códigos de revoltura.

Existen 2^{24} códigos de revoltura (traducción del término en inglés scrambling) en el enlace de subida. Tanto los códigos cortos (la familia extendida de los códigos S (2)) como los códigos largos (códigos dorados de 10 ms) pueden ser usados en este enlace. El código de revoltura utilizado es seleccionado por la red. El móvil es informado por un mensaje en el enlace de bajada acerca de cual código utilizar. Dicho código, en raros casos puede cambiar durante una conexión, pero si se da este caso, el código es negociado sobre el canal de control dedicado. [15]

Para los códigos en el enlace de bajada, un total de $2^{18} - 1 = 262,143$ pueden ser generados. Sin embargo, no todos los códigos son utilizados. Los códigos de revoltura son divididos en 512 juegos, cada uno consiste de un código primario y 15 secundarios. [15]

A cada célula se le asigna uno y sólo un código de revoltura primario. El canal de control común primario es transmitido usando el código de revoltura primario. Los demás

canales en el enlace de bajada son transmitidos con el juego de códigos que pertenecen al código primario asignado a la célula en cuestión. [15]

2.8 Códigos de sincronización.

Los canales de sincronía no son multiplicados por los códigos ortogonales, ni por los códigos de revolutura, éstos son multiplicados por los códigos de sincronía (primarios y secundarios). [1]

Los códigos de sincronía primarios son utilizados en los canales de sincronía primarios (P-SCH). Estos códigos son similares en todas la células. Esta propiedad es muy útil, ya se puede utilizar para sincronizar la ranura de tiempo en la fase de búsqueda de célula por parte del UE. Esta ráfaga de bits es enviada los primeros 256 chips de cada ranura de tiempo. [1]

Existen 16 diferentes códigos de sincronía secundarios, los cuales son enviados vía los canales de sincronía secundarios, pero sólo durante los primeros 256 chips de cada ranura de tiempo. Estos códigos son conocidos por todos los UE's. La estación base puede cambiar los códigos transmitidos cada ranura de tiempo. Existen 64 diferentes secuencias de códigos de sincronía. Una secuencia en particular le dice al UE acerca del grupo de códigos de scrambling en la célula. [1]

La tabla 1 muestra un resumen de los códigos de UMTS.

Tabla 1. Códigos utilizados en UMTS. [16]

	Códigos de sincronía	Códigos de canalización	Códigos de Scrambling en el enlace de subida	Códigos de revoltura en el enlace de bajada
Tipo	Códigos de Oro Códigos de sincronización primarios y secundarios	Códigos OVVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) llamados también códigos Walsh	Códigos de oro (largos) y códigos S(2) (cortos) Códigos de Pseudo ruido	Códigos de oro Códigos de Psuedo ruido
Longitud	256 chips	4-512 chips	38400 chips / 256 chips	38400 chips
Duración	66.67 μ s	1.04 μ s - 133.34 μ s	10 ms / 66.67 μ s	10 ms
Numero de códigos	1 primarios / 16 secundarios	= SF 4 ... 256 UL, 4 ... 512 DL	16,777,216	512 primarios/ 15 secundarios por cada primario
Esparcimiento	No	Si	No	No
Uso	Permitir a las terminales sincronizarse con los canales de control principales de la célula	UL: Para separar el DPDCH y el DPCCH del mismo UE DL: Para separar las conexiones en el enlace de bajada de diferentes usuarios de la misma célula.	Separación de terminales	Separación de sectores

2.9 Extendido/Modulación en UTRAN.

El proceso de extendido en UTRAN consiste de dos operaciones separadas: canalización y revoltura (traducción del término en inglés scrambling). La canalización transforma cada símbolo de datos en un número mayor de chips. Este cociente (número de chips/símbolo) es llamado SF (Spreading factor). Así que este proceso es el que incrementa el ancho de banda de la señal. El revoltura utiliza los códigos de pseudo ruido. El proceso de canalización se da antes del proceso de revoltura. [12]

Los códigos de canalización son ortogonales, lo que significa que un ambiente ideal, no interfieren unos con otros. Sin embargo, esta propiedad se logra si los códigos están sincronizados en el tiempo. Esto es usado en el enlace de bajada para separar los diferentes usuarios dentro de una célula, pero en el enlace de subida para separar los canales físicos de un usuario. Este no puede ser usado por la estación base para separar diferentes usuarios, ya que los móviles no se encuentran sincronizados en tiempo y por consecuencia sus códigos no son ortogonales. Sin embargo, en el modo TDD es posible tener una sincronización en el enlace de subida. [1]

En el proceso de revoltura, las fases en los planos I y Q son multiplicadas por los códigos de revoltura. Estos códigos de revoltura tienen propiedades de auto correlación.

El esquema de modulación en UTRAN es QPSK. La modulación es el proceso en el que los símbolos transmitidos multiplican a una portadora. Los símbolos modulados se llaman chips y su velocidad de modulación es de 3.84 Mcps. [1]

2.10 Modulación de los datos.

Al estar hablando de una tercera generación de telefonía celular, resulta evidente que las técnicas de modulación utilizadas deben ser digitales también. Es por ello que dentro de una gama de posibilidades de técnicas, las más utilizadas pueden ser ASK, FSK y PSK.

Un esquema de modulación de datos define como los bits de datos son combinados con la señal portadora, la cual siempre es una señal senoidal. [1]

En ASK (Amplitude Shift Keying) la amplitud de la señal portadora es modificada o multiplicada por la señal digital. La señal modulada puede ser descrita por la ecuación 1.

$$s(t) = f(t) \sin(2\pi f_c t + \phi) \quad \dots \quad (1)$$

donde $s(t)$ es la portadora de la señal modulada y $f(t)$ es la señal digital. [1]

En FSK (Frequency shift Keying) la frecuencia de la portadora de radio es modificada por la señal digital. Si estamos hablando de una señal digital, tiene sólo dos valores posibles, el cero y el uno lógico, por tanto, si la frecuencia de la portadora varía con estos valores, sólo podrá tomar dos posibles opciones de frecuencia como se demuestra en la ecuación 2. [1]

$$s(t) = f_1(t) \sin(2\pi f_{c1} t + \phi) + f_2(t) \sin(2\pi f_{c2} t + \phi) \quad \dots \quad (2)$$

En PSK, es la fase de la portadora de radio la que varía con la señal digital. En los sistemas de telefonía celular modernos, las diferentes variaciones de la modulación PSK como lo son BPSK, QPSK, GMSK, M-ary PSK entre otras, son las más utilizadas. Una representación matemática del esquema de modulación PSK es mostrado en la ecuación 3. [1]

$$s(t) = \sin[2\pi f_c + \phi(t)] \dots (3)$$

En el caso de un esquema de modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying) cada bit de datos es separado en dos símbolos de datos. Las reglas de mapeo en un diagrama de constelación es que el 1 se representa como un +1 y el 0 se representa como un -1. Por tanto, existen solo dos fases posibles en BPSK 0 y π radianes. [1]

En el caso del esquema de modulación QPSK (Quaternary PSK) existen cuatro fases posibles: 0, 2π , π y $3/2\pi$ radianes. Dos bits son transformados en un símbolo de datos complejo. La tabla 2 muestra un ejemplo de esta transformación. [1]

Tabla 2. Transformación de los bits de datos en la modulación QPSK.

00	+1+j
01	-1+j
10	-1-j
11	+1-j

Existen además algunas variaciones de la modulación QPSK como lo es el M-ary PSK el cual tiene M fases dadas como $2\pi m/M$; donde $m=0,1,\dots,M-1$. Además existe también el MSK (Minimum shift Keying). [1]

El sistema GSM utiliza un esquema de modulación llamado GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). [2]

El número de veces en el que un parámetro de la señal ya sea amplitud, frecuencia o fase varía por segundo se le conoce como velocidad de símbolo. Esta velocidad es medida en Baudios y 1 Baudio es igual a un cambio por segundo. En los esquemas de modulación binarios como lo son ASK, FSK y PSK, la velocidad de símbolo es la misma que la velocidad de bit. En la modulación QPSK y M-ary PSK la velocidad de símbolo excede la velocidad de un baudio. Cuando hablamos de CDMA la velocidad de modulación se denomina velocidad de chip. El proceso de convertir a los símbolos en chips es la última etapa en el proceso de modulación aplicado a una señal en el transmisor. El término chip, se utiliza para describir como la operación de extendido acomoda la trama original de datos en partes más pequeñas o chips. [1]

El sistema UTRAN utiliza la modulación QPSK en el enlace de bajada. La velocidad de chip en la modulación es de 3.84 Mcps. Por su parte en el enlace de subida, UTRAN utiliza un esquema de revoltura complejo. Este esquema adquiere varios nombres aunque UTRAN generalmente utiliza el nombre de QPSK de canal dual. Otros nombres pueden ser HPSK (Hybrid Phase Shift Keying) u OCQPSK (Orthogonal

Complex QPSK). La razón principal es que WCDMA debe resolver los problemas de la transmisión discontinua en el enlace de subida y el del consumo de potencia innecesario en el UE o móvil. [12]

Para entender mejor este concepto, cabe mencionar que en la interfaz aérea de UTRAN existen diferentes canales, tanto lógicos como físicos, los cuales se explicarán con mayor detalle cuando se explique la capa física en el siguiente capítulo.

2.10.1 La modulación y el problema en el consumo de potencia.

El problema del consumo de potencia por parte del equipo de usuario (UE) viene de que la transmisión en el enlace de subida es lo que consume la mayor parte de la batería del móvil. Por tanto, el esquema de modulación utilizado debe ser aquél que ahorre la mayor cantidad de energía posible. Si se mantiene el funcionamiento del amplificador de potencia del móvil lo más cercano a su punto de saturación, es decir, si la diferencia entre el pico de potencia y el nivel de potencia promedio de la señal producida por el esquema de modulación es pequeña, el consumo de potencia será menor por parte del UE. Este problema no es fácil de resolver debido a que en la interfaz aérea de UTRAN (WCDMA) existe un canal de control dedicado y uno o varios canales físicos de datos dedicados para los datos del usuario incluyendo voz, además dichos canales transmiten con diferentes niveles de potencia simultáneamente. Si se utilizan los esquemas de modulación tradicionales, como QPSK en el caso del enlace de bajada, en un sistema multi-canal como lo es el enlace de subida de UTRAN, esto puede resultar en

gran número de cruces por cero en el plano I/Q. Esto significa una diferencia entre el pico de potencia y el nivel promedio de potencia alta, una baja eficiencia en el amplificador de potencia y por lo tanto un desgaste más rápido en la batería del móvil lo que se traduce en menos horas de uso antes de ser recargado. [1]

El término cruce por cero se refiere a que dos resultados en la constelación están colocados en lados opuestos del origen, lo que significa que cuando estos chips sean transmitidos, la transición debe cruzar por el cero u origen. [1]

En el esquema de modulación propuesto para UTRAN (como ya se mencionó QPSK de canal dual) los canales físicos son multiplexados en el plano I/Q, es decir, el canal de control dedicado es transmitido en la ruta del eje Q y el primer canal de datos dedicado es transmitido en la ruta del eje I. Los demás canales de datos dedicados se irán alternando entre los ejes del plano. [12]

Cabe mencionar que no sólo la modulación determina la eficiencia en el consumo de potencia del sistema, sin embargo es un elemento importante. Otro componente importante es el esquema de control de potencia utilizado, entre los que se encuentran el control de potencia de lazo abierto, de lazo cerrado y de lazo interno. [12]

2.11 Codificación de canal en UTRAN.

Más allá de verificar los errores ejecutando una función de codificación, UTRAN utiliza dos esquemas de corrección de errores: los códigos convolucionales y los turbo códigos. En la actualidad existe un tercer esquema el cual es no corrección de errores en absoluto (no FEC at all). Esto hace un total de cuatro mecanismos de corrección de errores: codificación de bloque, codificación turbo, codificación convolucional y ninguna codificación de canal en absoluto. [1]

Los códigos convolucionales son otra forma de proteger a la información libre de errores. Mientras la codificación de bloque se usa para detectar errores y el esquema ARQ lo corrige, los códigos convolucionales combinan ambas funciones. Los códigos convolucionales son diferentes de los códigos de bloque, ya que estos operan continuamente sobre las tramas de datos. Ellos tienen memoria que les permite que los bits de salida no dependan totalmente de los bits de entrada, es decir, que puedan predecir algunos bits de entrada. Un código convolucional puede ser descrito usando el formato (n,k,m) donde n es número de bits de salida por palabra de datos, k es el número de bits de entrada y m es la longitud de la memoria. [1]

Los turbo códigos han sido encontrados muy eficientes ya que pueden operar muy cerca del límite descrito por la ley de Shannon. En los turbo códigos la salida del proceso de decodificación es usada para ajustar la entrada de datos. Este proceso iterativo mejora la calidad de la salida del decodificador. [1]