

# PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CLUSTERS DE CELDAS LTE

Mildred G. Ayala R., Ernesto E. Quiroz M., José C. Núñez P.  
CITEDI-IPN, Av. del Parque No. 1310, Mesa de Otay C.P. 22510 Tijuana, B.C.  
Tel. (664) 623-1344, mayala@citedi.mx, eequiroz@citedi.mx, nunez@citedi.mx

## RESUMEN

El gran auge que ha suscitado la tecnología LTE, demanda a los operadores no solo la adopción de estos sistemas, sino el definir las capacidades de sus sistemas iniciales, y la proyección de como crecerlos de acuerdo a la demanda. La multitud de servicios multimedia asequible a los usuarios actuales demanda una capacidad de dimensionamiento de estos sistemas ya no solo en función de voz, sino de multitud de capacidades de acuerdo al servicio. En este trabajo se presenta una plataforma de dimensionamiento de sistemas LTE/LTE-A, que permite a un analista de redes celulares LTE, determinar la capacidad de un sistema multi-celdas en cuanto a número de usuarios que le es posible atender, incluyendo en su análisis la demanda de servicios específicos de la gama de multi-servicios de LTE.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los ciclos de vida tecnológicos de las etapas de la evolución de los sistemas celulares son cada vez más cortos. Los sistemas de 1a generación, duraron un par de décadas, los de 2a una década, el de 3a menos de una década y 4G pasó de LTE (Long Term Evolution: Evolución a Largo Plazo) a LTE-Advanced (LTE-A) en unos 3 años [1], [2].

Por otro lado, las herramientas de dimensionamiento de generaciones anteriores no son aplicables a LTE/LTE-A, para diseñar y analizar sus capacidades y configuraciones de sistemas. Adicionalmente, LTE/LTE-A ofrece posibilidades no exploradas respecto a generaciones anteriores, como son IPTV de alta definición, multimedia en tiempo real, acceso instantáneo a redes sociales, etc. Esto provoca la necesidad de nuevas herramientas computacionales que permitan a un operador dimensionar el número de usuarios, la cantidad de celdas, y los equipos

requeridos para atender demandas de usuarios actuales y proyectadas con nuevos usuarios.

En este trabajo se presenta una plataforma de dimensionamiento de sistemas LTE/LTE-A, que permite a un analista de redes celulares LTE, determinar la capacidad de un sistema multi-celdas en cuanto a número de usuarios que le es posible atender.

## 2 DIMENSIONAMIENTO DE CLUSTERS DE CELDAS LTE

Para iniciar con el análisis de capacidad se necesita dimensionar la red, el dimensionamiento es la fase inicial de la planificación de red, proporciona una estimación de los elementos de red necesarios así como la capacidad de estos elementos. [3]

El uso de células permite que una red de comunicaciones móviles tenga escalabilidad, es decir, la flexibilidad de incrementar la capacidad a pasos, conforme la demanda lo indique. Un arreglo celular divide una área de cobertura en pequeñas celdas, cada una con su propia estación base, operando bajo un plan de frecuencias. [4]

Para llevar a cabo el cálculo de las capacidades de servicio multimedia de agrupamientos de celdas LTE se calculan: las tasas de datos de enlace descendente y ascendente, utilizando las ecuaciones de [5], se estima el número de suscriptores que utilizan la red de forma simultánea [6], y se efectúa un análisis de cobertura en [7], las celdas de LTE tienen radios desde 1 hasta 35 Km, de acuerdo al tamaño, proporcionan coberturas urbanas, sub-urbanas, rurales, y carreteras.

### 2.1.1 CALCULO DE LAS TASAS DE DATOS

Para calcular la tasa de datos de enlace descendente y ascendente se utilizan las ecuaciones 1 y 2 obtenidas en [5] como se muestra a continuación:

$$R_{Downlink} = BW \left[ \frac{\eta_{BW}}{Q} * \sum_{k=1}^{kq} \sum_{q=1}^Q \log_2 \left[ 1 + \eta_{SNR} * \alpha_{kq} * \frac{\beta_{kq}}{\sigma_n^2} \right] \right] \quad (ec. 1)$$

$$R_{uplink} = BW \left[ \frac{\eta_{BW}}{Q} * \sum_{q=1}^Q \log_2 \left[ 1 + \eta_{SNR} * \alpha_{kq} * \frac{\beta_{kq}}{\sigma_n^2} \right] \right] \quad (ec. 2)$$

Dónde,  $R_{Downlink}$  y  $R_{uplink}$  son las tasas de datos en bps.

Estas fórmulas dependen de una serie de factores importantes  $\alpha_{kq}$  perdida del sistema, fracción de asignación de potencia  $\beta_{kq}$ ,  $\eta_{BW}$  que representa la eficiencia del ancho de banda y  $\eta_{SNR}$  es la eficiencia de la relación señal a ruido, BW es el ancho de banda de canal en Hz, Q es el número de sub-canales,  $\sigma_n^2$  es la potencia de ruido.

La pérdida del sistema es igual a la potencia recibida entre la potencia transmitida, como se muestra en la ecuación 3.

$$\alpha_{kq} = \frac{P_{RX}}{P_{TX}} \quad (ec. 3)$$

Dónde:

- $P_{RX}$  es la potencia recibida en dBm.
- $P_{TX}$  es la potencia transmitida en dBm.

La fracción de asignación de potencia  $\beta_{kq}$ , por simplicidad suponemos que es uniforme [8] en todos los sub-canales y está dada por la ecuación 4:

$$\beta_{kq} = \frac{P_{TX}}{RQ} \quad (ec. 4)$$

Donde  $P_{TX}$  es la potencia total transmitida, R es el número de bloques de recursos por sub-canal, en este caso R=1 y Q se puede encontrar en [9] para un ancho de banda de canal.

La potencia de ruido  $\sigma_n^2$  es calculada en [10] y está determinada por la siguiente la ecuación 5:

$$\sigma_n^2 = kT + 10 \log_{10}(BW) + NF \quad (ec. 5)$$

Donde kT es la densidad de ruido térmico, y en las especificaciones de LTE se define como -174dBm/Hz donde k es la constante de Boltzmann ( $1.380662 * 10^{-23}$ ) y T es la temperatura de Rx (que se supone 15°C). BW es el ancho de banda del canal en Hz y NF es la figura de ruido que se define como 5 para el eNodeB en LTE [1].

Con los resultados del sistema de simulación [11] de  $\eta_{SNR}$  se calcula para diferentes  $\eta_{BW}$  en los diferentes esquemas MIMO y los resultados se muestran en la Tabla 1, tanto para enlace descendente y ascendente:

|                    | Numero de Antenas Tx | Eficiencia de BW | Eficiencia de SNR |
|--------------------|----------------------|------------------|-------------------|
| Enlace descendente | 1                    | 0.8              | 0.88              |
|                    | 2                    | 0.76             | 0.97              |
|                    | 3                    | 0.75             | 1                 |
|                    | 4                    | 0.72             | 1.09              |
| Enlace ascendente  | 1                    | 0.8              | 0.88              |

Tabla 1. Eficiencias Downlink y Uplink en LTE.

## 2.1.2 NUMERO DE SUSCRIPTORES

Para el cálculo del número de suscriptores se toma en cuenta un enfoque basado en velocidad de tasa de datos [6], convirtiendo los valores de las tasas de datos al número máximo de suscriptores. El número de suscriptores descendente aquí se refiere al número máximo de suscriptores que utilizan la red de forma simultánea. Por lo que el número de suscriptores Nsub se puede calcular de la siguiente manera:

$$N_{sus} = \frac{C_{cap} * L_{BH}}{N_{sec} * \frac{R_{sus}}{O_{factor}}} \quad (ec. 6)$$

Dónde:

- $C_{cap}$  es la capacidad de la celda (tasa de datos).[12]
- $L_{BH}$  es la carga de horas promedio de ocupados
- $R_{sus}$  es la velocidad de datos que requiere el usuario
- $O_{factor}$  es el factor de sobre suscriptor.
- $N_{sec}$  es el número de sectores por sitio.

## 2.1.3 ANALISIS DE COBERTURA

El análisis de la cobertura se obtiene mediante estimación de los recursos necesarios para prestar el servicio en la zona de despliegue con los parámetros del sistema dado. En este apartado se calcula el radio de la celda de un determinado sector de LTE se calcula sobre la base de los modelos de propagación.

Un presupuesto de enlace es la contabilidad de todas las ganancias y pérdidas desde el transmisor, a través del medio (pérdida de propagación, la pérdida de cable, etc.) al receptor en un sistema de radio. La ecuación 7 calcula un presupuesto en el canal inalámbrico:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{TX} - L_{RX} + PM + PL \quad (ec. 7)$$

Dónde:

- $P_{RX}$  es la potencia recibida en dBm.
- $P_{TX}$  es la potencia transmitida en dBm.
- $G_{TX}$  es la ganancia de la antena del transmisor (dBi).
- $G_{RX}$  es la ganancia de la antena del receptor (dBi).
- $L_{TX}$  es el cable y otras pérdidas en el transmisor (dB).
- $L_{RX}$  es el cable y otras pérdidas en el receptor (dB).
- PM es el margen de Planificación.
- PL es la pérdida de trayectoria (dB).

Para el modelo de propagación de Okumura-Hata. Hay cuatro modelos Hata: ciudad abierta, Suburbano, pequeñas y grandes ciudades. Se utiliza en la gama de frecuencias de 500 MHz a 2000 MHz y la fórmula básica para la pérdida en de trayectoria Hata es [13]:

$$L_{HATA} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_{MHz}) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_b) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(d_{km}) - K \quad (ec.8)$$

Donde  $L_{HATA}$  es la perdida de trayectoria,  $F_{MHz}$  es la frecuencia en MHz,  $h_b$  es la altura de la estación base en metros,  $h_m$  es la altura de la antena móvil en metros, y  $a(h_m)$  y  $K$  son características ambientales como se describe en [13].

Por lo que el rango  $d_{km}$  se puede calcular como:

$$d_{km} = 10^{\left( \frac{L_{hata} - 69.55 - 26.16 \log_{10}(f_{MHz}) + 13.82 \log_{10}(h_b) + a(h_m) + K}{44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)} \right)} \quad (ec.9)$$

## 2.2 PLATAFORMA DE ANALISIS COMPUTACIONAL

En esta sección se describe el desarrollo del PAC 4G-LTE (Plataforma de análisis de capacidad 4G-LTE) una plataforma computacional interactiva.

El desarrollo de la plataforma de análisis de capacidad PAC 4G-LTE se efectuó en MatLab versión 2008b, nos permite dimensionar clusters de celdas LTE, calcular tasas de datos totales tanto para enlace descendente como para enlace ascendente, el número de suscriptores por tipo de servicio multimedia por celda, y la capacidad total del arreglo por servicios y celdas.

Su estructura consta de cinco interfaces principales, que son: Número de suscriptores, rea de cobertura, Tasa de datos del enlace de bajada, Tasa de datos del enlace de subida y Síntesis de resultados de clusters de celdas.

### MODO DE OPERACIÓN

En este apartado se muestra la Interfaz Gráfica Completa "PAC 4G LTE". Al correr el programa se despliega la ventana de la Figura 1, se le da clic en inicio.

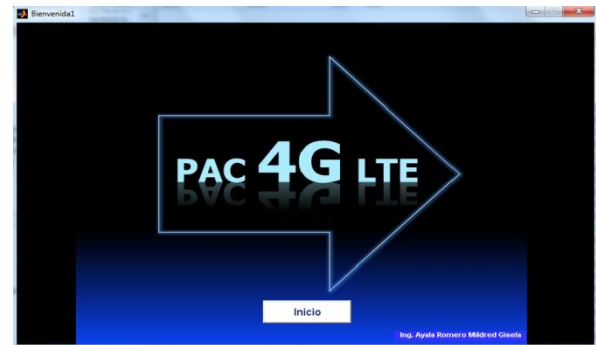


Figura 1. Bienvenida

Posteriormente nos despliega la ventana de la Figura 2, la cual muestra la configuración de macroceldas. Mediante la opción de "selección de configuración de las celdas" presione clic, con esta opción se podrá definir el número de celdas del arreglo (1 a 10), las cuales se configuran de manera independiente, o bien darle la misma configuración a todas las celdas.



Figura 2. Arreglo clásico de celdas

Al seleccionar la primera opción se despliega la ventana de la Figura 3, se inicia el dimensionamiento de cada una de las celdas. Seleccione la celda a dimensionar y presione el botón "Celdas a dimensionar" para continuar como se muestra en la Figura 4.

|                                       | Celda 1 | Celda 2 | Celda 3 | Celda 4 | C |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---|
| Tasa de Datos DL (Mbps)               | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Tasa de Datos UL (Mbps)               | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Número de suscriptores DL             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Número de suscriptores UL             | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Área de cobertura (Km)                | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Tipo de Población                     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Tipo de Servicio                      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Número de Usuarios DL por Km2 / Celda | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |
| Número de Usuarios UL por Km2 / Celda | 0       | 0       | 0       | 0       | 0 |

Figura 3. Agrupamiento de Macrocelas

Figura 6. Área de Cobertura

Se abre la ventana de la Figura 5, seleccionar cada una de las opciones a calcular. Las figuras 6-9 despliegan las interfaces correspondientes a los botones de la Figura 4. Los valores corresponden a un ejercicio de análisis.

En la pantalla de Área de Cobertura (Fig. 6) se definen las características radioeléctricas de la celda, con las cuales se determina el área de cobertura. Para ello se requiere conocer la potencia de transmisión de la radiobase, y la potencia mínima de operación de la terminal celular.

Figura 4. Menú.

Figura 7. Calculo de las Tasas de Datos DL

Figura 5. Número de Suscriptores

Figura 8. Calculo de las Tasas de Datos UL

Al terminar de hacer dichos cálculos presione Finalizar y se abre nuevamente la ventana de la Figura 4 (Síntesis de resultados de clusters de celdas LTE) en la cual se van desplegando los resultados de cada una de las celdas con forme se

van calculando, un ejemplo se muestra en la figura 9.

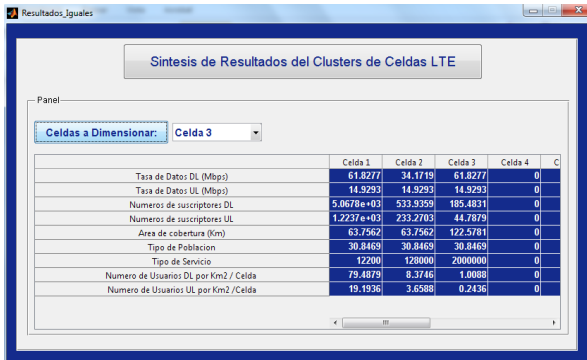


Figura 9. Resultados obtenidos de los agrupamientos de celdas

En esta ventana nos muestra un resumen general del dimensionamiento, muestra las tasas de datos, números de **suscriptores**, **área de cobertura**, **Tipo de población**, **Tipo de servicio**, y los números de usuarios por Km2.

#### 4.3 CASO DE ESTUDIO

El primer paso es determinar el número de celdas que deseas configurar en este caso será solo una para efectos prácticos. En la ventana de la Figura 1 presionar clic en el botón "selección de configuración de celdas" posteriormente despliega la ventana de la Figura 2., en la sección del recuadro que dice "Celda 1" se selecciona la Celda que se desea configurar, se tiene la posibilidad de configurar de una por una o todas iguales teniendo como límite 10 celdas (este número se puede ampliar), en este caso seleccionamos "Celda 1" presionar clic en el botón de "Celdas a dimensionar", subsiguientemente despliega la ventana de la Figura 3 y nos muestra el "Menu" seleccionamos la opción de "Numero de Suscriptores" inmediatamente se abre la ventana de la Figura 4, el primer dato requerido para determinar el número de suscriptores son las Tasas de datos de subida y bajada, para dicho dato se mandan llamar dentro de la misma ventana de número de suscriptores (Figuras 6 y 7) los datos de entrada para dichos cálculos son:

**Datos de entrada para el cálculo de las Tasas de datos DL (enlace de bajada):** Ancho de banda (1.4, 5, 10, 15 MHz), Configuración MIMO (1x1, 2x2, 3x3, 4x4), Potencia de Transmisión por el eNodeB (42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 dBm), Potencia recibida por el Equipo de Usuario (-54.652 dBm).

Tomando como datos de entrada un ancho de banda = 20MHz y una configuración MIMO = 4x4, Ptx por el eNodeB = 46dBm y Prx Equipo de Usuario = -54.652 nos da como resultado una **Tasa de Datos DL = 61.82 Mbps**.

**Datos de entrada para el cálculo de las Tasas de datos UL (enlace de subida):** Ancho de banda (se guarda el mismo seleccionado para DL), Configuración MIMO (1x1), Potencia de Transmisión por el equipo de Usuario (27.78 dBm), Potencia recibida por el eNodeB (-82.6 dBm).

Tomando como datos de entrada un ancho de banda = 20MHz (misma que en el caso anterior) y una configuración MIMO = 1x1, Ptx por el eNodeB = 46dBm y Prx Equipo de Usuario = -54.652 nos da como resultado una **Tasa de Datos DL = 14.92 Mbps**.

Una vez obtenidos estos datos, seleccionamos del panel: Hora Pico (10, 20, 30, 40, 50), Numero de Sectores (1,2,3), Tipo de servicio (VoIP, Vstreaming, TV), Factor de Sobresuscripcion (10, 20, 30).

Seleccionamos de estos datos de entrada un porcentaje de Hora Pico = 10, Numero de Sectores = 3, Tipo de Servicio = VoIP y un factor de sobresuscripción = 10 dando como resultado **Números de Suscriptores DL= 15203 Mbps** y **Números de Suscriptores UL= 3671 Mbps**.

Una vez calculados dichos datos regresamos a la pantalla de "Menú" y seleccionamos "Área de Cobertura" y elegimos los siguientes datos de entradas.

**Datos de entrada para el Área de Cobertura:** Potencia transmitida (42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 dBm), Potencia recibida (-82.6 dBm), Ganancia de la antena del transmisor (2, 4, 6, 9, 11 dbi), Ganancia de la antena de receptor (2, 4, 6, 9, 11 dbi), Cable y otras perdidas en el transmisor (0, 2 db), Cable y otras perdidas en el receptor (0, 2 db), Margen de planificación (0, 5, 10, 15, 20, 25 dB), Tipo de población (Urbano, Sub urbano, Ciudad Chica, Ciudad Grande), Frecuencia central (1910, 2017.5, 1880, 1960, 1920, 1900), Altura de la estación base (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200 mts), Altura de la antena Móvil (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 mts), Numero de sectores (1, 2, 3)

Tomando como entrada Potencia transmitida = 46 dBm, Potencia Recibida = -82.6



dBm, Ganancia de la antena del transmisor = 2 dBi, Ganancia de la antena de receptor = 2 dBi, Cable y otras pérdidas en el transmisor = 0 dB, Cable y otras pérdidas en el receptor = 0 dB, Margen de planificación = 0 dB, Frecuencia central = 1910 MHz, Altura de la estación base = 30 m, Altura de la antena Móvil = 1 m y Números de sectores = 1, dando como resultado un **radio de celda = 1.72 Km y una Área de cobertura = 9.35 Km**

Una vez terminando de calcular los parámetros antes mencionados cerramos las ventanas y regresamos a la ventana de la Figura 8 aquí se muestra un resumen general del dimensionamiento, muestra las tasas de datos, números de suscriptores, área de cobertura, Tipo de población, Tipo de servicio, y los números de usuarios por Km<sup>2</sup> para el caso calculado quedaría de la siguiente manera:

| Resultados Obtenidos  |
|---|
| Tasa de Datos DL = 61.82 Mbps                                   |
| Tasa de Datos UL = 14.92 Mbps                                   |
| Número de Suscriptores DL = 15203                               |
| Número de Suscriptores UL = 3671                                |
| Área de Cobertura = 9.35 Km                                     |
| Tipo de población = Sub Urbano                                  |
| Tipo de Servicio = VoIP   |
| Número de Usuarios DL por Km <sup>2</sup> /Celda = 541 Usuarios |
| Número de Usuarios UL por Km <sup>2</sup> /Celda = 130 Usuarios |

**Tabla 2. Resultados obtenidos**

### 3 CONCLUSIONES

Se presenta una plataforma de simulación para el dimensionamiento de la capacidad de atención a usuarios de un sistema LTE/LTE-A. La plataforma permite determinar la capacidad de un cluster de celdas en número de usuarios, para planificar aspectos de crecimiento en el número de celdas.

Los resultados obtenidos de la plataforma para el cálculo de tasas de datos están dentro de las especificaciones de la tecnología LTE.

La herramienta permite definir a nivel de una celda individual, sus características principales, tipo de servicio multimedia predominante, porcentajes de usuarios activos, etc., y finalmente determinar las capacidades de todo el cluster.

Sus principales ámbitos de aplicación son operadores de sistemas celulares, y también como

una herramienta didáctica en cursos de sistemas celulares y particularmente sistemas LTE.

### 4 REFERENCIAS

- [1] Stefania Sesia, Issam Toufik and Matthew Baker. "LTE- The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice "Editorial John Wiley & Sons, 2009.
- [2] Meneses González Salvador Ricardo, "Comunicaciones Móviles: Más allá de la 3G y la 4G". Instituto Politécnico Nacional - Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Mexico DF. Diciembre 2007, 7p.
- [3] Marco A. Muñoz V., "Metodologías, criterios y herramientas para la planificación de redes inalámbricas", Universidad de ciencias físicas y matemáticas, Santiago de Chile, 2007
- [4] Caballero José Manuel, "Redes de Banda Ancha", 1ra Edición, Ed, Marcombo, 2007.
- [5] Liang Zhang, "Network Capacity, Coverage Estimation and Frequency Planning of 3GPP Long Term Evolution", Master thesis in Automatic Control at Linköping Institute of Technology, 2010.
- [6] Harri Holma, Antti Toskala. "LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access". John Wiley and Sons, 2009.
- [7] Walter Debus "RF Path Loss & Transmission Distance Calculations". August 4, 2006 <http://www.axonn.com/pdf/path-loss-calculations.pdf> May 2010.
- [8] Vieira P., Queluz M.P., Rodrigues A. "MIMO antenna array impact on channel capacity for a realistic macro-cellular urban environment". 68th IEEE Vehicular Technology Conference Fall 2008 Calgary, Canada, September 2008.
- [9] 3GPP TS 36.101: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception". version 8.7.0 Release 8, 2009. (table 1)
- [10] J. Dabrowski. "Radioelectronics". LiU-Tryck, 2009.
- [11] 3GPP TR 36.942: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios". version 8.2.0 Release 8, 2009.
- [12] 3GPP TS 36.306: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities". version 8.2.0 Release 8, 2008.
- [13] Walter Debus "RF Path Loss & Transmission Distance Calculations". August 4, 2006 <http://www.axonn.com/pdf/path-loss-calculations.pdf> May 2010.