

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED RF INDOOR EN EL
HOSPITAL DE EMERGENCIAS PEDIÁTRICAS PARA MEJORA
DE COBERTURA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que
presenta el bachiller:

Aldo Duarte Vera Tudela

ASESOR: Ing. David Ortega

Lima, Marzo del 2013

Resumen

La presente tesis consiste en el diseño e implementación de una red *RF Indoor* al interior del Hospital de Emergencias Pediátricas con la finalidad de solucionar los problemas de cobertura de señal del servicio de telefonía móvil tanto para la tecnología 2G, así como también, la tecnología 3G.

El trabajo se ha organizado de la siguiente forma:

En el primer capítulo se presenta una introducción teórica al mundo de la telefonía móvil y a sus tecnologías así como las consideraciones de optimización que se tienen en estas redes, presentando finalmente las distintas soluciones existentes para la mejora de cobertura en interiores.

En el segundo capítulo se presenta el análisis y la arquitectura de la solución tras el estudio de la realidad y las variables que involucran el problema, elaborando los alcances de esta tesis.

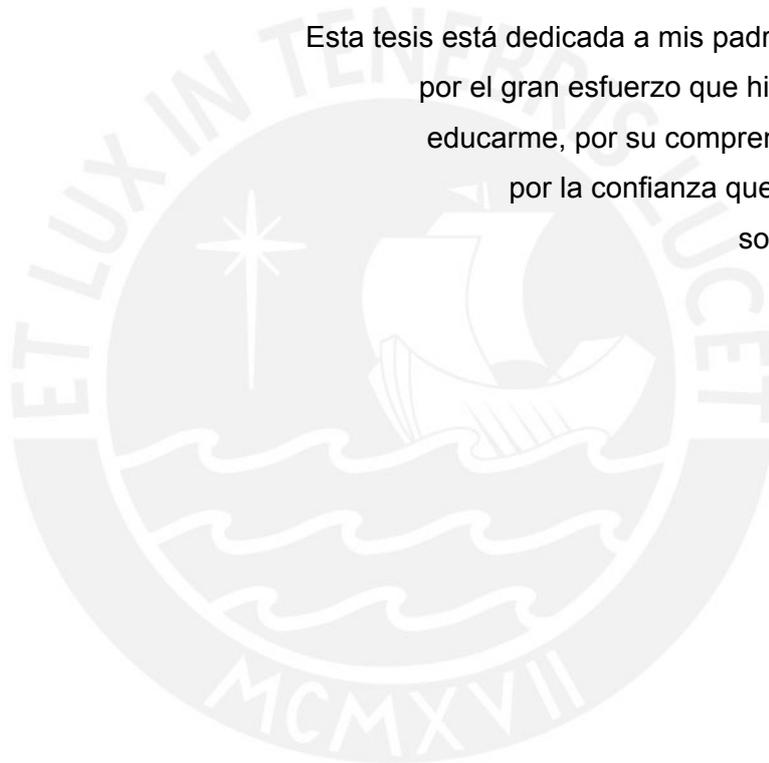
En el tercer capítulo se muestra el diseño de la solución e implementación de la misma, en donde se presentan los resultados del diseño, las consideraciones de la instalación y el resultado físico de la instalación, así como un alcance económico de la puesta de la red.

En el cuarto capítulo se prueba la red instalada para luego iniciar un plan de pruebas del sistema funcional cuyos resultados son analizados y comparados con los valores proyectados en el diseño.

Finalmente, considerando los análisis realizados en el capítulo 4, se dan las conclusiones y recomendaciones a futuro pertinentes.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres Luis y Carmen por el gran esfuerzo que hicieron para poder educarme, por su comprensión, su amistad, por la confianza que pusieron en mí y sobre todo: su amor



AGRADECIMIENTOS

Quisiera empezar agradeciendo a Dios por haberme hecho su hijo hace ya varios años convirtiéndose en el motor de mi vida, colmándome de bendiciones día a día, guiándome constantemente, por haber arreglado milagrosamente las cosas en mi hogar y por su increíble amor.

Agradezco infinitamente a mis padres por el esfuerzo increíble al pagar mis estudios y darme la oportunidad de llegar a este punto de mi vida. También gracias porque más allá de ser mis padres puedo decir con alegría que son mis amigos.

A la gran familia que Dios me regaló, en especial a mi “abue” por siempre preocuparse por mí, por engreírme, por hacerme reír, por sus consejos y todo el cariño brindado. A toda mi familia, en general, gracias por haberse preocupado por mí y haber contribuido a ser la persona que soy actualmente con sus consejos.

Al ingeniero David Ortega, mi asesor, por haberme acompañado en este gran reto y por su preocupación, la ayuda y la confianza puesta en mí. Agradezco su amistad y el haberme soportado en momentos de ansiedad durante el desarrollo de esta tesis.

A mis profesores, todos y cada uno, por brindarme los conocimientos necesarios para llegar a este lugar, a mis compañeros de aulas que hicieron de esta etapa algo grato y gracias porque a muchos los puedo llamar amigos y de los buenos.

A mis amigos de toda la vida, mis hermanos, que me han acompañado en cada etapa: ¡Sin Uds. todo sería distinto, gracias por los buenos recuerdos!

De manera especial, gracias a aquella persona que me motivó, entre otras cosas, a acabar esta tesis de forma más rápida. ¡Me ayudaste más de lo que te imaginas!

Finalmente, a todos de nuevo.... ¡Muchas gracias!

Índice

Índice	v
Lista de Figuras	vii
Lista de Tablas	viii
Introducción	9
Capítulo 1 Estudio Teórico	10
1.1 Tecnologías Móviles.....	10
1.1.1 Segunda Generación.....	10
1.1.1.1 Breve Descripción de GSM – 2G.....	11
1.1.1.2 Arquitectura de Red.....	11
1.1.1.3 Canalización Aire.....	12
1.1.2 Tercera Generación.....	13
1.1.2.1 Breve Descripción de UMTS – 3G.....	14
1.1.2.2 Arquitectura de Red.....	15
1.1.2.3 Interfase de Aire.....	15
1.2 Planificación y Optimización de Acceso de Radio.....	17
1.2.1 Definición.....	17
1.2.2 Consideraciones para la planificación y Optimización.....	17
1.2.3 Indicadores aplicables a la señal de radio.....	18
1.3 Soluciones de optimización Indoor.....	19
1.3.1 Repetidores de Banda y de Canal.....	19
1.3.2 Femtoceldas.....	20
1.3.3 RF Indoor.....	21
Capítulo 2 Análisis del Problema y Arquitectura de la Solución	23
2.1 Definición del problema a resolver.....	23
2.1.1 Descripción del caso.....	23
2.1.2 Mediciones Tomadas.....	26
2.1.2.1 Herramientas y Métodos de Medición.....	26
2.1.2.2 Resultados e Interpretación.....	27
2.2 Alcances y Limitaciones de la Tesis.....	30
2.3 Propuesta de la Arquitectura de la Solución.....	31
2.3.1 Arquitectura de la Solución.....	32
2.3.2 Tecnología de la solución.....	33
Capítulo 3 Diseño e Implementación de la Solución	35
3.1 Equipamiento a Utilizar.....	35
3.2 Diseño de la Solución.....	37
3.2.1 Ubicación de Equipos.....	37
3.2.2 Predicciones de cobertura.....	39
3.2.2.1 Predicción de cobertura – Diseño para 2G.....	41
3.2.2.2 Predicción de cobertura – Diseño para 3G.....	42
3.2.3 Cuadros de Potencias del Diseño.....	43
3.2.3.1 Cuadro de Potencias 2G.....	44
3.2.3.2 Cuadro de Potencias 3G.....	45
3.2.4 Diagramas Generales de la Solución.....	46
3.2.4.1 Vista de Distribución Frontal.....	46
3.2.4.2 Diagrama de Unilineal Eléctrico.....	46
3.2.4.3 Listado de Materiales.....	47

3.3	Consideraciones de la Instalación	49
3.4	Implementación y Puesta de la Solución.....	49
3.5	Análisis Económico de la Solución.....	51
Capítulo 4 Pruebas de Desempeño		55
4.1	Objetivo y Valor de las Pruebas Finales	55
4.2	Metodología de Pruebas.	55
4.2.1	Herramientas de Medición	56
4.2.2	Metodología.....	56
4.3	Resultados de la Medición.....	57
4.3.1	KPIs considerados	57
4.3.2	Mediciones Tomadas.....	59
4.3.2.1	Mediciones 2G	59
4.3.2.2	Mediciones 3G.....	63
4.3.3	Resultados Obtenidos.....	67
4.3.4	Afectación Cuantitativa de KPI's.....	68
4.4	Comparación Cualitativa.....	69
4.4.1	Situación Inicial.....	69
4.4.2	Escenario Planificado.	70
Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros		72
5.1	Recomendaciones	72
5.2	Trabajos Futuros	73
5.3	Conclusiones.....	74
Bibliografía		76
Anexos		79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1: ARQUITECTURA DE RED GSM.....	12
FIGURA 1-2: CANALES LÓGICOS	13
FIGURA 1-3: EVOLUCIÓN UMTS	14
FIGURA 1-4: RED UMTS.....	15
FIGURA 1-5: CANALIZACIÓN UMTS.....	16
FIGURA 1-6: SOLUCIÓN INDOOR CON REPETIDORES	20
FIGURA 1-7: SOLUCIÓN INDOOR CON FEMTOCELDAS.....	21
FIGURA 1-8: DISTRIBUCIÓN DE RF INDOOR.....	22
FIGURA 2-1: UBICACIÓN Y FRONTIS DEL HOSPITAL.....	24
FIGURA 2-2: BTS Y NODOS MÁS CERCANOS AL HOSPITAL	25
FIGURA 2-3: NEMO HANDY	26
FIGURA 2-4: INTERFASE DE NEMO OUTDOOR	27
FIGURA 2-5: NIVEL DE RxLev	28
FIGURA 2-6: NIVEL DE RSCP	28
FIGURA 2-7: NIVEL DE Ec/No	29
FIGURA 2-8: SCRAMBLING CODES	29
FIGURA 2-9: ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN	33
FIGURA 3-1: UBICACIÓN DE BBU, RRU Y RECTIFICADOR	38
FIGURA 3-2: UBICACIÓN DE BTS EN LA AZOTEA DEL PISO 3.....	39
FIGURA 3-3: VISTA 3D DEL HOSPITAL.....	40
FIGURA 3-4: PREDICCIÓN DE COBERTURA 2G PISO 1.	41
FIGURA 3-5: PREDICCIÓN DE COBERTURA 3G PISO 1.	42
FIGURA 3-6: VISTA DEDISTRIBUCIÓN FRONTAL.....	46
FIGURA 3-7: DIAGRAMA UNILINEAL ELÉCTRICO.	47
FIGURA 3-8: PUESTA DE LOS EQUIPOS.....	50
FIGURA 3-9: ANTENAS Y SPLITTERS AL INTERIOR DEL HOSPITAL.....	51
FIGURA 4-1: NIVEL FINAL DE RxLev.....	60
FIGURA 4-2: NIVEL FINAL DE C/I.	60
FIGURA 4-3: NIVEL FINAL DE BEST SERVER.....	61
FIGURA 4-4: NIVEL FINAL DE BLER.....	61
FIGURA 4-5: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT DL 2G.	62
FIGURA 4-6: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT UL 2G.	62
FIGURA 4-7: NIVEL FINAL DE DELTA RxLev.	63
FIGURA 4-8: NIVEL FINAL DE RSCP.....	63
FIGURA 4-9: NIVEL FINAL DE Ec/No.	64
FIGURA 4-10: MEDIDA FINAL DE SCRAMBLING CODES.....	64
FIGURA 4-11: MEDIDA FINAL DE Tx POWER.....	65
FIGURA 4-12: MEDIDA FINAL DE CQI.	65
FIGURA 4-13: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT DL 3G.	66
FIGURA 4-14: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT UL 3G.	66
FIGURA 4-15: NIVEL FINAL DE DELTA RSCP.....	67

Lista de Tablas

TABLA 3-1: CUADRO DE POTENCIA 2G.....	44
TABLA 3-2: CUADRO DE POTENCIA 3G.....	45
TABLA 3-3: LISTA DE MATERIALES DEL DISEÑO EN IBWAVE DESIGN.....	48
TABLA 3-4: TABLA DE INVERSIÓN DE INSTALACIÓN.....	52
TABLA 3-5: TABLA DE MÁRGENES DE GANANCIA.....	52
TABLA 3-6: TABLA DE GANANCIA ANUAL.....	53
TABLA 3-7: FLUJO DE CAJA.....	54
TABLA 4-1: KPIs CONSIDERADOS.....	57
TABLA 4-2: RESUMEN DE RESULTADOS.....	68
TABLA 4-3: COMPARACION CUANTITATIVA KPI's.....	69



Introducción

En los últimos años ha sido impresionante el crecimiento de la telefonía móvil, debido a la gran demanda de usuarios y servicios que ésta tiene. Sin embargo, detrás de estos servicios hay una gran evolución y años de desarrollo tecnológico que ha hecho posible una evolución de las comunicaciones móviles que ha pasado de ser algo que mejoraba nuestra forma de vivir a una necesidad vital. En la actualidad se puede decir que todas las actividades humanas están regidas por la necesidad de estar siempre comunicados, desde acciones triviales como planear una salida al cine con los amigos hasta acciones de alto riesgo como sería el informar de un accidente grave. No tener un teléfono celular es casi inconcebible.

Es por esto que resulta muy necesaria que la cobertura de este servicio esté disponible en todo momento. Lamentablemente esto no ocurre así, siendo muy común quedar totalmente sin servicio cuando se está dentro de una edificación. Sea una persona en su hogar, su oficina, una tienda o, peor aún, un hospital, no es raro que experimente problemas de cobertura. En este último caso, el de un hospital, es inadmisibles el hecho que un servicio tan vital e indispensable no esté al 100% disponible cuando una comunicación rápida y satisfactoria podría suponer la vida o muerte de un ser humano.

Esta tesis brindará una solución para la cobertura de telefonía móvil al interior del Hospital de Emergencias Pediátricas utilizando el esquema de optimización *RF Indoor*, con la finalidad de, no solo mejorar el servicio, sino de asegurar que la comunicación esté disponible en momentos de urgencia.

En este trabajo se realizará un breve estudio teórico de los conceptos ligados a la telefonía móvil y las tecnologías que la definen, así como también las consideraciones para la optimización de redes móviles y las soluciones que existen para la mejora de cobertura en interiores. Luego se realizarán estudios prácticos y mediciones dentro del Hospital de Emergencias Pediátricas para conocer la realidad al interior de este lugar.

En base a estos estudios se procederá a la definición de objetivos medibles para luego hacer el diseño e implementación de una red *RF Indoor* con el fin que los niveles de señal dentro del recinto sean óptimos y garanticen la cobertura del servicio de telefonía móvil.



Capítulo 1

Estudio Teórico

En el presente capítulo se hará un estudio teórico de los conceptos necesarios para el desarrollo de la presente tesis.

1.1 Tecnologías Móviles

En el presente punto, se pasará a describir los conceptos básicos relacionados con las tecnologías 2G y 3G

1.1.1 Segunda Generación

La segunda generación en la telefonía móvil tuvo a 2 grandes tecnologías que intentaron definirla, las cuales fueron: GSM y CDMA. De estas dos la que logró posicionarse a nivel mundial terminó siendo GSM. Es por esto que ésta descripción se enfocará en la reseña de la tecnología GSM como la tecnología móvil 2G por excelencia debido a su despliegue masivo y de que es la tecnología usada en nuestro país.

1.1.1.1 Breve Descripción de GSM – 2G

GSM responde al acrónimo de *Global System for Mobile Communications* y, como su nombre lo dice, fue ideado para ser un sistema global. Esta tecnología nace a raíz de una problemática, a mediados de la década de 1980, con los sistemas analógicos los cuales eran desarrollados individualmente en cada país y no permitían interoperabilidad entre sistemas de países distintos. Por esta razón fue que, a través del ETSI (*European Telecommunication European Institute*), se publicó en 1990 la Fase 1 de la normativa del sistema GSM. [GAR2001]

Este nuevo sistema tendría las siguientes innovaciones: sería un sistema netamente digital usando la modulación GMSK en la interfase de aire, mejoraría la eficiencia del espectro utilizando TDMA (*Time Division Multiple Access*) con lo que se permitía a más usuarios conectarse y, como su nombre lo dice, fue diseñado para ser un sistema global que sea compatible en cualquier lugar en donde esta tecnología existiese fijando dos bandas predeterminadas las cuales son: GSM 900 que comprende desde 890 MHz. hasta 960 MHz y GSM 1800 que comprende desde los 1710 MHz. hasta los 1880 MHz. [NOK2002] .

1.1.1.2 Arquitectura de Red

Se puede observar en la Figura 1.1 que la red se divide en 3 bloques diferenciados, los cuales son: BSS (*Base Station Subsystem*), NSS (*Network Switching Subsystem*) y NMS (*Network Management Subsystem*); además se nota otros elementos como el MS (*Mobile Station*) y las interfaces que interconectan cada parte de la red.

En el trabajo a realizar los estudios se harán a partir del análisis de la parte de acceso de radio de esta arquitectura por lo tanto se le dará mayor atención a los bloques de MS y BSS.

El *Mobile Station* (MS) es, de forma sencilla, el teléfono celular que una persona común posee y el cual es el medio de interacción entre un usuario y la red de telefonía celular. El MS se divide en dos elementos claramente definidos los cuales son: el ME (*Mobile Equipment*), el cual es el teléfono móvil propiamente dicho y la tarjeta SIM (*Subscriber Identity Module*), el cual es una pequeña tarjeta que guarda los datos más relevantes del usuario y que asociará a este a algún operador existente. Esta tarjeta será la llave de acceso para que el móvil acceda a la red que le dará el servicio.

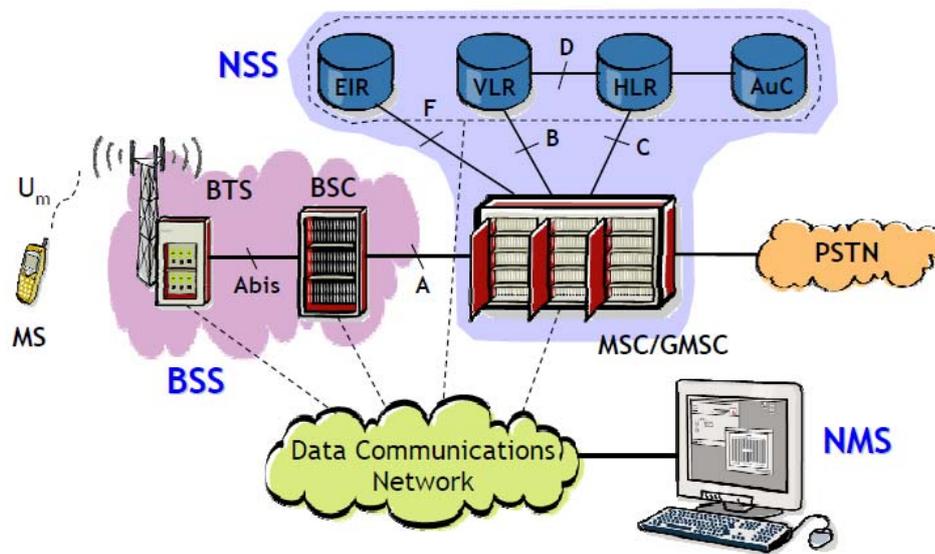


FIGURA 1-1: ARQUITECTURA DE RED GSM

Fuente: [VEL2010]

El bloque *Base Station Subsystem* (BSS) es el que se encarga básicamente del control de canales y conexiones de radio que se asignan al momento que el móvil realiza una llamada, en otras palabras, es el encargado de controlar el tráfico y la señalización de las llamadas que se realizan. La BSS está compuesta por la BTS (*Base Transceiver Station*) que es el elemento que atiende directamente al MS y el que le da la cobertura de red, y la BSC (*Base Station Controller*) quien controla el accionar de la BTS y quien ve la gestión de la movilidad y da soporte a la señalización. [HEI1998].

1.1.1.3 Canalización Aire

La red GSM tuvo algunas mejoras con respecto a sus antecesores analógicos en muchos aspectos, pero uno que marcó diferencias notables fue el cambio realizado en la interfase de aire. A continuación se dará un breve alcance de la canalización de dicha interfase.

GSM utiliza TDMA (*Time Division Multiple Access*) método que divide un canal de radio, en una frecuencia determinada, en periodos de tiempo consecutivos llamados Tramas TDMA. Cada trama TDMA tiene a su vez 8 periodos de tiempo más cortos llamados *timeslots*. El *timeslot* es llamado Canal Físico y es porque a través de éste es

que la información físicamente será llevada de un punto a otro. El *timeslot* es el canal físico y lo que se encuentra contenido en él a lo largo de los 8 *timeslots* de cada trama TDMA se les conocen como Canales Lógicos. En GSM estos canales lógicos se dividen en dos tipos: los denominados *Dedicated Channels* (Canales Dedicados) y *Common Channels* (Canales Comunes). A su vez, estos canales pueden ser de control o de tráfico. [WIL2003]

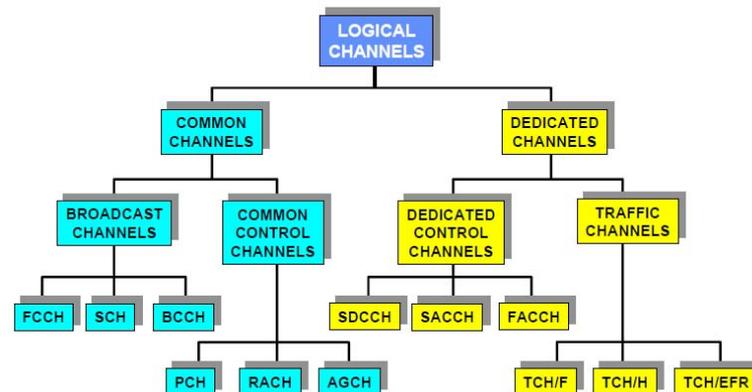


FIGURA 1-2: CANALES LÓGICOS

Fuente: [NOK2002]

En la figura 1-3 se puede apreciar los tipos de canales lógicos de GSM en su totalidad y de cómo es que se dividen. Existen los canales comunes, que son aquellos que son usados por más de un elemento de la red a la vez, un ejemplo de esto son los mensajes de *Broadcast* que la red envía a los ME dentro de un *Location Area*. A su vez los canales dedicados son aquellas en donde se hace comunicación punto a punto entre dos elementos de red, ejemplo de esto es cuando se establece ya una llamada y se usa un canal de tráfico exclusivo entre los terminales que participan de la llamada. Pero esta gran división se subdivide en canales de *Broadcast*, Canales de Control y Canales de Tráfico. [NOK2002]

1.1.2 Tercera Generación

Para inicios del año 2000 el Internet crecía de tal manera que se empezó a volver una necesidad el poder conectarse a la red en cualquier momento y lugar desde terminales móviles. Con esto no bastaba el enviar solamente voz a través de un teléfono celular sino también enviar datos.

Fue técnica y comercialmente necesario ir a un siguiente nivel en la telefonía móvil. Se intentó lograr esto en base a GSM con variaciones como GPRS o EDGE, en las cuales se permitía el acceso a Internet pero con anchos de banda muy limitados que llegaron, en teoría, a picos de aproximadamente 500 Kbps pero que en la realidad llegaban 250 Kbps en promedio. Esto no permitía tener banda ancha en un teléfono móvil [KOR2003]. Por esto es que se tuvo migrar de tecnología para alcanzar velocidades de transmisión aceptables para el momento y esto se logró con la aparición de UMTS.

1.1.2.1 Breve Descripción de UMTS – 3G

La tecnología modifica la forma de acceso múltiple ya que cambia de TDMA, utilizado por GSM, por WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), la cual se eligió puesto que el utilizar códigos para el acceso múltiple permite mayor cantidad de accesos simultáneos que usando divisiones de tiempo en un pedazo de espectro que solo permitía 8 accesos por portadora. En UMTS cada portadora WCDMA tiene un ancho de banda de 5 MHz. lo cual fue elegido puesto que esto permitía alcanzar velocidades de transmisión desde los 384 Kbps hasta los 2 Mbps dependiendo de las condiciones climáticas. [KOR2003] Esta fue la meta inicial de UMTS por lo tanto la primera versión de UMTS (*Release 99*) tuvo esta velocidad en su estándar.

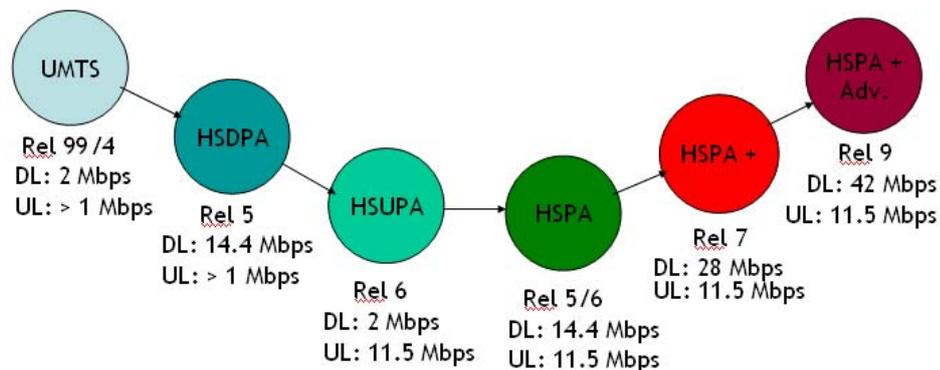


FIGURA 1-3: EVOLUCIÓN UMTS

En la Figura 1-4 se puede apreciar como es que UMTS ha evolucionado desde su aparición. Cada *release* mejoró algún aspecto en la arquitectura de UMTS y cada una tiene prestaciones interesantes pero se centrará el estudio de la tecnología 3G en el *Release 7* puesto que es el *release* utilizado por los operadores actualmente en el Perú.

1.1.2.2 Arquitectura de Red

Existen dos ámbitos que interactúan en la red UMTS, una es la infraestructura de dominio que consiste en el núcleo de la red o *Core Network* (NC) y el segundo es la red de acceso (UTRAN).

La red de acceso (UTRAN) está conformada por un punto de acceso llamado Nodo B y el RNC los cuales en conjuntos proveen el método de acceso ya sea por dominio de paquetes o dominio de circuitos. Su relación es parecida a la existente en GSM entre la BTS y el BSC. [HAR2006] Después de la RNC la información puede tomar dos caminos distintos dependiendo de si se requiere enviar voz o datos. A esta división en conjunto, es decir, que tanto la etapa de voz y el dominio de paquetes conforman el núcleo de la red (NC). En la Figura 1-5 se muestra la arquitectura de red de UMTS.

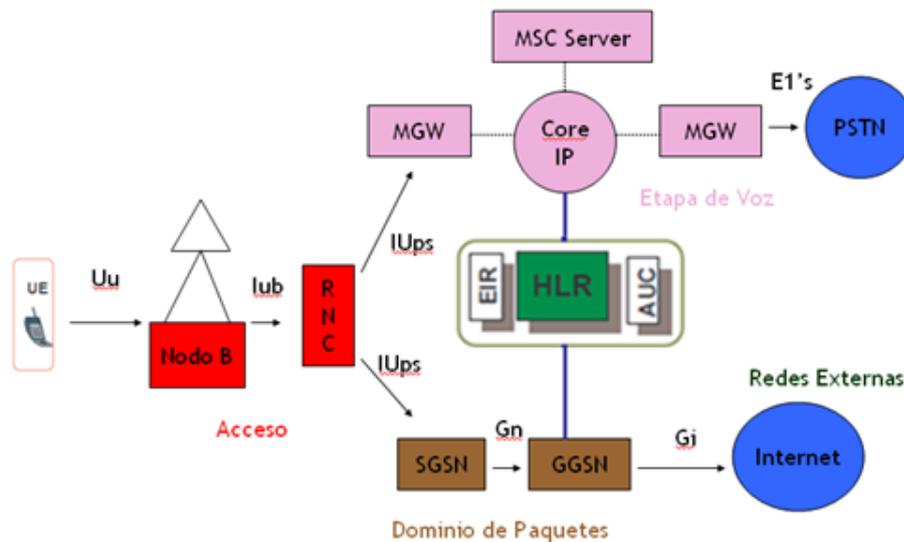


FIGURA 1-4: RED UMTS

Se puede notar que la información puede ir a la etapa de voz en donde lo novedoso es que es una etapa IP lo cual no existía en GSM, esto permite mejores transmisiones, facilitar la tarea de conmutación y también el control de la movilidad a través del *MSC Server*. [KAR2004].

1.1.2.3 Interfase de Aire

Desde la aparición de UMTS las velocidades de transmisión han sufrido cambios dramáticos y vertiginosos. Estos cambios se han debido no por un cambio significativo de arquitectura de red sino por mejoras en la interfase de aire entre el móvil y el nodo B.

La tecnología HSPA+ cambia la modulación usada en el *downlink* a 64QAM lo cual aumenta las tasas de transmisión considerablemente pero necesita una SNR considerablemente alta para una correcta demodulación. También se introduce la transmisión y recepción discontinua en donde si el nodo B no envía información significativa del sistema el receptor del móvil apaga su receptor y así también el transmisor se apaga cuando no se tenga que enviar información. Esto ayuda a ahorrar energía en la batería del móvil y reduce la interferencia en ambos canales aumentando la capacidad del medio. Con estas mejoras la velocidad de transmisión pueden alcanzar picos de 28 Mbps. [QUA2009]

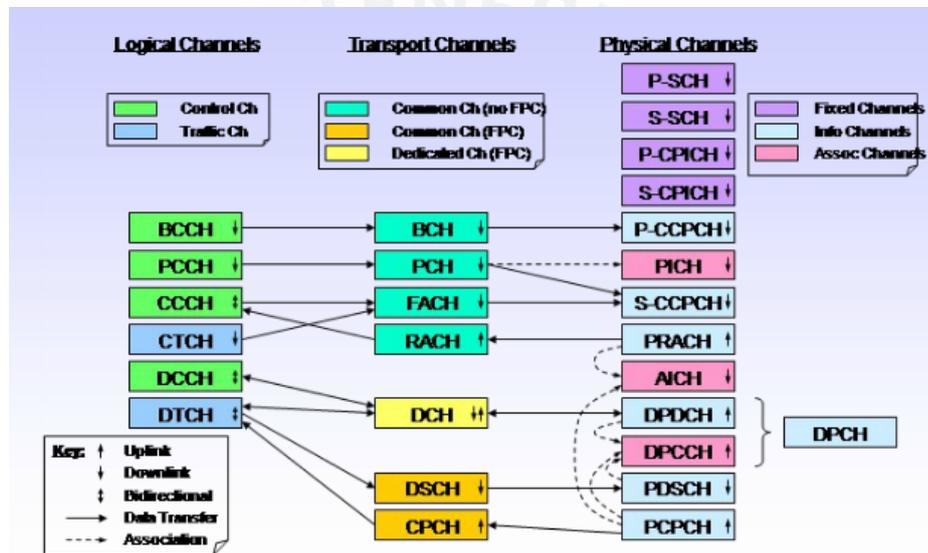


FIGURA 1-5: CANALIZACIÓN UMTS

Fuente: [SIK2004]

Al igual que en GSM, se tendrá una canalización en la interfase de aire para llevar la información, pero a diferencia de GSM esta vez habrán 3 tipos de canales, los cuales son: canales lógicos, canales de transporte y canales físicos, como se ve en la Figura 1-6. En UMTS los canales lógicos son los que engloban la información dependiendo de su finalidad, esto es, si son de control ó de tráfico, y, a su vez, si son de tráfico se separan en que si es tráfico de voz o tráfico de datos. Los canales de transporte se usan para proteger al canal lógico mientras es transmitido y el canal físico es el espacio físico por donde el canal de transporte va a ir mientras llega a su destino. [SIK2004]

1.2 Planificación y Optimización de Acceso de Radio

Al momento de desplegarse una red de telefonía móvil hay dos factores que son fundamentales, los cuales son la planificación y la optimización. En todo proyecto en donde se requiera acceso de radio éstos dos puntos son vitales para el buen desempeño futuro y el cumplimiento de los objetivos de lo que se espera implementar. Es por esto que se detallará puntualmente lo más resaltante de estos dos conceptos.

1.2.1 Definición

La planificación de una red móvil es el primer paso antes que ésta pueda ser desplegada. En esta etapa se definen los componentes a utilizar, la forma en que se instalarán, y cuales serán los niveles de los parámetros de radio. Esto es decidido teniendo en cuenta factores técnicos para el correcto funcionamiento de la red, factores geográficos y climáticos puesto que cada red tendrá un contexto distinto, y la limitante económica ya que el costo siempre es un factor a tomar en cuenta cuando se planifica.

Por otro lado, la optimización significa el modificar algo que ya esté desplegado o realizar cambios sobre un proceso que se esté llevando a cabo con el fin de mejorar el desempeño o ampliar sus prestaciones. Es muy común en la redes de telecomunicaciones la optimización periódica debido al continuo avance de las tecnologías y lo cambiante de las demandas del mercado que impulsan la constante mejora de equipos e incremento de capacidades.

1.2.2 Consideraciones para la planificación y Optimización

Al momento de realizar la planificación, específicamente para redes de telefonía celular en la etapa de acceso de radio, se debe de tomar en cuenta ciertas consideraciones para realizar una buena planificación. Entre estas consideraciones se encuentran, en primer lugar, un pronóstico de tráfico, lo más ajustado a la realidad posible, para lograr un correcto dimensionamiento de red y que contemple un crecimiento futuro. Luego está el realizar visitas técnicas ó *Technical Site Surveys* (TSS) para conocer con exactitud el estado del sitio donde se va a trabajar e identificar los problemas más relevantes a superar. También se debe estimar como será la movilidad de los usuarios para considerar una cantidad de *handovers* en el dimensionamiento, y así evitar interrupciones en las llamadas. Como el factor económico es importante, se debe de procurar diseñar una topología de solución que satisfaga las demandas y que tenga el menor costo. Por último, es importante el uso

de un software potente que ayude a simular los diseños que se propongan y que permita hacer cálculos importantes como es el caso del *Link Budget*, que es el balance de todas las pérdidas y ganancias de potencia desde los transmisores hasta los receptores. [NOK2000]

Por otro lado tenemos la optimización que, como ya se dijo anteriormente, se lleva a cabo una vez que se tiene ya una red desplegada. Este proceso se ejecuta tan pronto como la implementación entra a estar operativa. Como en el ámbito de la tecnología el tiempo de obsolescencia de las prestaciones es corto, la optimización debe ser un proceso iterativo en el cual se debe constantemente mejorar en cuatro aspectos bien marcados. Primero se debe buscar periódicamente el aumentar la capacidad de la red, constantemente reducir el costo de operabilidad de red ya sea sustituyendo equipos que no tengan un costo alto de operabilidad ó aumentando el *revenue* implementando valores agregados sobre la arquitectura ya desplegada, incrementar la cobertura y mejorar constantemente la calidad y el rendimiento de la red para mantener contentos a los clientes de la red y no perder terreno frente a la competencia. [NOK2003]

1.2.3 Indicadores aplicables a la señal de radio

Para la planificación de soluciones de acceso de radio existe un gran número de parámetros que se utilizan para medir la calidad de la cobertura y de la comunicación cuando una llamada está desarrollándose. Estos parámetros son distintos si es que se quiere analizar una red GSM ó una red UMTS, e intentar definir la totalidad de éstos sería muy extenso, por lo tanto, se mencionará aquellos que serán de importancia en el presente trabajo.

Los indicadores propios de GSM son:

- *Rx Level* que es la potencia de señal que se percibe en el receptor del MS. Con este valor se determina como es la calidad de la cobertura de la red.
- *C/I* lo cual son las siglas de la relación entre la potencia de portadora y la potencia de la interferencia (*Carrier to Interference Ratio*). Si este valor tiene valores bajos se perderá cobertura ya que el MS no distinguirá la señal de portadora con el ruido.
- *BLER* que responde a las siglas de *Block Error Rate* en el que se mide la relación de errores de bloques de bits con la cantidad de bloques totales transmitidos.

- *Best Server* el cual indica cual es la BTS que domina en el lugar donde se esté y que, por ende, es la que está brindando la cobertura de red. [CHE2006]

Los parámetros en UMTS que serán más relevantes son:

- RSCP (*Receive Signal Code Power*) que es la potencia que mide el receptor del teléfono móvil proveniente del CPICH, la cual es constante y nos da una gran idea de cómo es la cobertura de la red en el área en que se está.
- E_c/N_0 es la energía por chip sobre el total de la densidad espectral de potencia. Esto no permite cuantificar el nivel de interferencia en el medio.
- PSC (*Primary Scrambling Code*) mide el SC, que es el código de acceso múltiple en WCDMA, que domina en un punto y sirve para identificar el origen de la celda que da cobertura. Muchos PSC en una pequeña área incrementa la probabilidad de que se caiga una llamada.
- CQI (*Channel Quality Indicator*) es un indicador provisto por una conexión remota, generalmente por el nodo B, que da información acerca de la calidad del canal que se mida.
- *TX Power* que mide la potencia de transmisión del UE al momento de que se está llevando a cabo una llamada.
- *Throughput* que mide la velocidad de descarga de datos efectiva que se alcanza en una sesión en UMTS. [CHE2006]

1.3 Soluciones de optimización Indoor

La telefonía móvil se ha hecho indispensable en todo ambiente, es preciso por ello que la cobertura de este servicio esté presente en cualquier lugar y en cualquier momento. Sin embargo, la telefonía móvil se desarrolló desde sus inicios para ser una solución de comunicación cuando los usuarios estén fuera de su hogar o centro de trabajo, es por esto que es común experimentar problemas de cobertura en el hogar ó en la oficina. Es por esto que se idearon soluciones para mejorar la cobertura en interiores sin interferir la cobertura en el exterior, estas soluciones fueron los repetidores de banda y de canal, las femtoceldas y el denominado *RF Indoor*.

1.3.1 Repetidores de Banda y de Canal

Esta solución parte de una idea muy sencilla la cual es que si la cobertura de la celda no llega al edificio y éste no se puede acercar a la celda, entonces se hace que la celda se acerque al edificio. Esto se logra captando la señal de la celda con una

antena y luego retransmitiéndola en la edificación pero en una frecuencia y canal distinto.

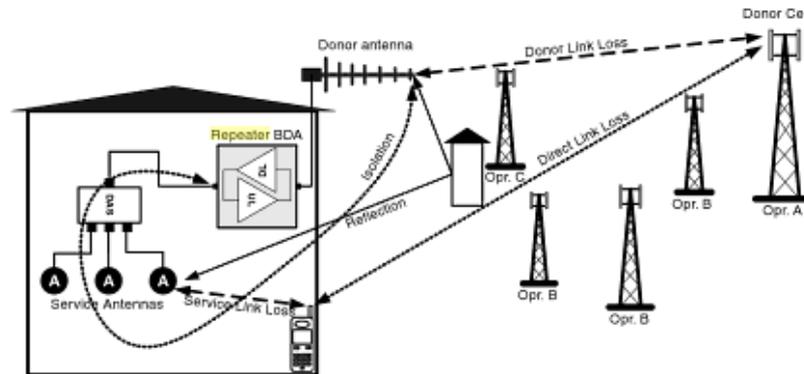


FIGURA 1-6: SOLUCIÓN INDOOR CON REPETIDORES

Fuente: [TOL2008]

En la Figura 1-6 se puede observar como es que se logra llevar a cabo esta solución. Primero se tiene una antena altamente directiva y de la misma polarización que la celda que capta la señal de la celda en el exterior, ubicada donde no debería haber problemas para captar señal. Se debe elegir la celda dominante para evitar problemas y hacer un buen cálculo de las pérdidas en el aire para que la señal captada se pueda redistribuir. Una vez captada la señal, esta es llevada por cable coaxial hasta el equipo repetidor, el cual amplifica la señal, cambia la frecuencia y el canal de la señal que le llega y la retransmite ya sea por fibra óptica ó cable coaxial, dependiendo del diseño, a la etapa del Sistema Distribuido de Antenas (DAS) el cual distribuirá la señal repetida por todo el recinto con potencias pequeñas para evitar que se produzca una huella de señal grande en el exterior, este sistema de antenas podrá ser tanto pasivo como activo. [TOL2008]

1.3.2 Femtoceldas

Las femtoceldas también parten de una idea muy simple, si las celdas no pueden dar cobertura en un recinto, entonces se lleva una celda pequeña que resuelva el problema. Precisamente eso es lo que es una femtocelda en términos prácticos, es una celda de dimensiones muy pequeñas. Este concepto de celda en casa no sólo fue pensado para mejorar cobertura sino también para aliviar el tráfico de las celdas, como se puede apreciar en la Figura 1-7 en donde la femtocelda usa la red de Internet casera para conectarse a un Gateway específico que conectará el intento de llamada a la red móvil del operador suscrito. Lo novedoso de esta solución es que si no se

intenta realizar una llamada de voz sino que se desea cursar datos por Internet, no se utilizará la red móvil sino que se enviarán los datos sobre la red de Internet que uno posea en casa.

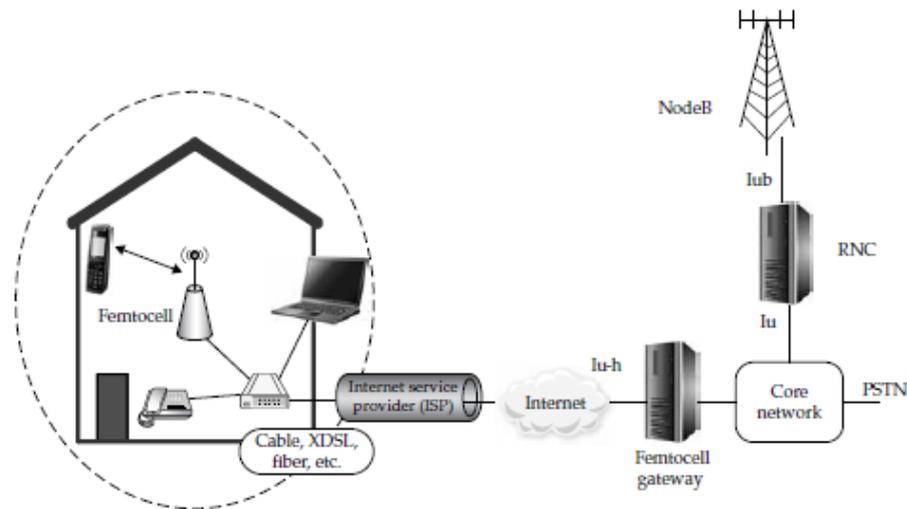


FIGURA 1-7: SOLUCIÓN INDOOR CON FEMTOCELDAS

Fuente: [BOC2011]

Esta solución permite un tráfico simultáneo de 7 a 10 llamadas y un área de cobertura entre 100 y 150 m² pero que está sujeto a disminuciones dependiendo de los obstáculos propios de un vivienda. [BOC2011] Como se ve es una solución de poca capacidad y cobertura pero su mayor atractivo es su facilidad de instalación ya que bastaría con conectar la femtocelda a la conexión de Internet y con una configuración sencilla se tendría ya la femtocelda operativa, esto hace posible que cualquier persona pudiera conectar uno de estos equipos.

1.3.3 RF Indoor

El denominado *RF Indoor* tiene el siguiente principio: se tiene un nodo B pero en lugar de irradiar su potencia a través de una gran antena se divide ésta y se irradia a través de pequeñas antenas a baja potencia con lo cual se puede controlar el área que se desea cubrir. En esta solución se tiene una BBU (*Base Band Unit*), la cual es la unidad de Banda Base que convertirá la señal entrante de las antenas a banda base, además de esto esta unidad tendrá funciones de control y señalización, ésta BBU es la misma unidad de banda base que se utiliza en el despliegue de macro celdas. La potencia suministrada por esta BBU es distribuida como se observa en la Figura 1-7.

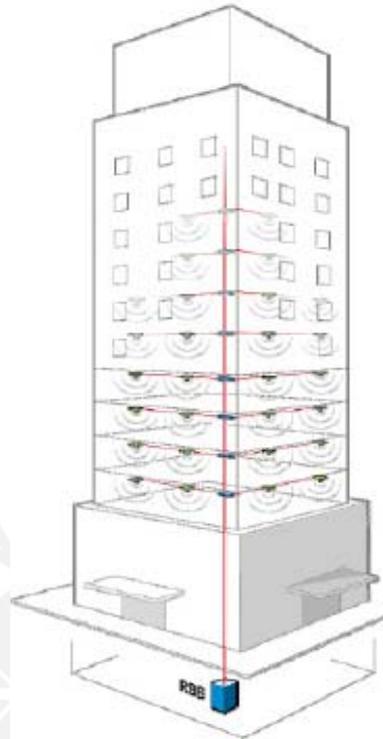


FIGURA 1-8: DISTRIBUCIÓN DE RF INDOOR

Fuente: [LOF2011]

La potencia de la BBU se lleva a través de fibra óptica ó cable coaxial dependiendo el diseño y es dividida a través de *splitters* que dividirán la potencia y la distribuirán a las antenas que están por todo el edificio. Es preciso decir que antes de hacer esta división se debe pasar por un RRU (*Remote Radio Unit*) que ajusta la frecuencia que envía la BBU de banda base a la frecuencia en la que trabaja el operador. Una RRU puede soportar 18 antenas, por lo tanto, si el diseño de un edificio es muy grande se necesitará más de una RRU. Cada RRU define un sector de cobertura, esto quiere decir que mientras se esté bajo cobertura de las 18 antenas de una RRU el móvil en movimiento y cursando una llamada no se enterará que hay múltiples antenas, pero si se pasa a la cobertura de otra RRU se tendrá un *handover* puesto que se cambió de sector. En caso se utilice fibra óptica en el diseño se deberá adicionar un rectificador al lado de la BBU para evitar el deterioro de la señal óptica.

Capítulo 2

Análisis del Problema y Arquitectura de la Solución

En este capítulo se definirá el problema o caso práctico que se resuelve en esta tesis, se darán los alcances y limitaciones del proyecto y se dará una propuesta de solución sobre la cual se hará un diseño posterior.

2.1 Definición del problema a resolver

2.1.1 Descripción del caso

El Hospital de Emergencias Pediátricas ubicado en Av. Miguel Grau N° 800 y Prolongación Huamanga N° 126, al costado del Hospital Almenara, es un Hospital perteneciente al Ministerio de Salud que opera desde el 12 de Julio de 1985 y que desde el año 2005 fue elevado a la Categoría III-1 en el cual se le reconoce como “Hospital especializado en emergencias pediátricas de tercer nivel de atención”. Este hospital brinda servicios de neurocirugía, neurología, cirugía, medicina general, traumatología y neumología, todo esto centrado en el área pediátrica, y atiende aproximadamente a 337 pacientes al día, según datos publicados en la página web del Hospital a enero de 2012. [HEP 2011] Conociendo que los pacientes de este hospital son niños de entre 0 a 14, se asume que no irán solos a atenderse sino que irán acompañados de, en promedio, dos adultos más, considerando esto y el propio personal del hospital podemos asumir que 1500 personas aproximadamente circularán por las instalaciones del hospital. Este Hospital tiene la particularidad de que sus

instalaciones están divididas por el Jr. Huamanga, teniéndose el edificio principal de tres pisos, donde se ubica el área principal del Hospital y donde estarán los pacientes. Este primer edificio cuenta con área de 1,518 m². El segundo bloque es un edificio administrativo de dos pisos y un sótano ubicado en Prolongación Huamanga No 131, en donde habrá oficinas administrativas y los archivos médicos, de 256 m² de terreno. [HEP 2011]

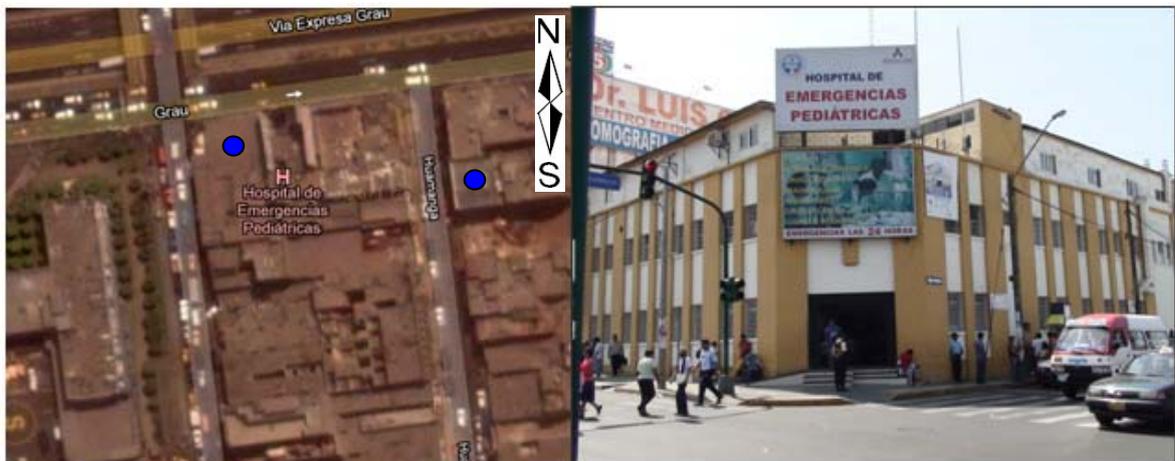


FIGURA 2-1: UBICACIÓN Y FRONTIS DEL HOSPITAL

Este hospital cuenta con un problema de cobertura de interiores. Los pacientes, médicos y trabajadores experimentan constantes problemas al intentar realizar llamadas telefónicas o enviar datos desde sus dispositivos móviles, problemas que se traducen en imposibilidad de realizar llamadas o repentinas interrupciones y caídas.

Este problema trae consigo dos consecuencias muy graves. Se tiene que considerar el hecho que se está hablando de un hospital por lo tanto los eventos que ocurren dentro de este lugar son de alta relevancia para la salud y vida de muchos niños, por esto el hecho de que no se puedan concretar comunicaciones a través de teléfonos móviles puede comprometer el rápido accionar en situaciones de emergencia y comprometer la vida de un paciente. Por otro lado se encuentra el tema económico puesto que es un lugar de gran afluencia y el hecho de que las personas no puedan concretar llamadas o cursar datos significa pérdida de oportunidad para el operador del servicio ya que no puede facturar si las comunicaciones no se establecen.

Analizando la ubicación del hospital se pueden observar posibles causas de esta problemática.

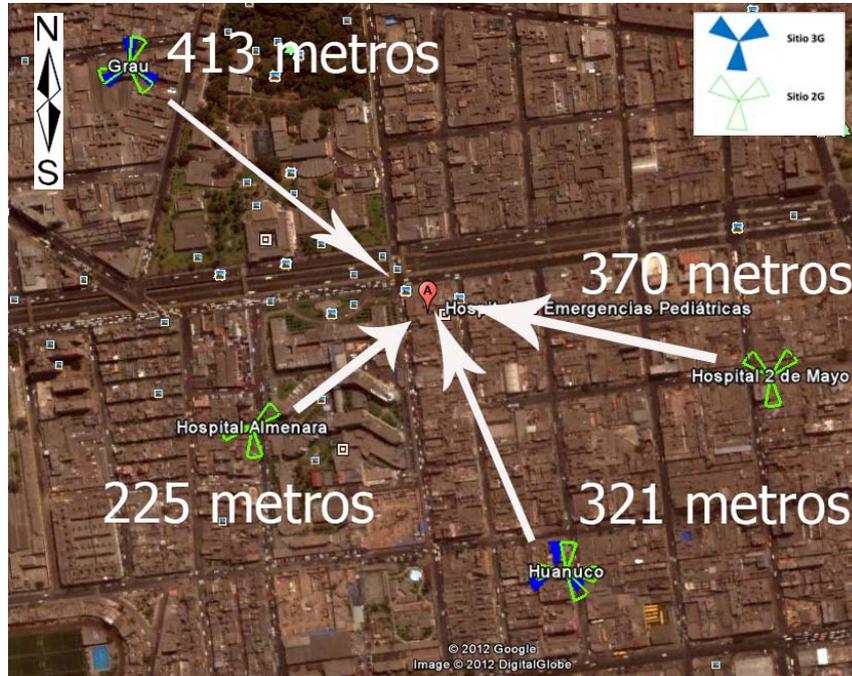


FIGURA 2-2: BTS Y NODOS MÁS CERCANOS AL HOSPITAL

Vemos en la Figura 2-2 la posición de las BTS y nodos más cercanos al Hospital. En el caso de 2G vemos que la BTS más cercana se encuentra a 225 metros, la cual es una distancia relativamente no muy grande, sin embargo, se tiene al Hospital Almenara en el camino el cual tiene 4 pisos y está hecho de concreto con vigas muy gruesas lo cual atenúa grandemente la señal de telefonía móvil. También se debe tener en cuenta que el tráfico que se cursa en el Hospital Almenara es grande debido a la gran cantidad de personas que se atienden diariamente ahí, lo cual no deja canales disponibles para atender mayor número de llamadas. Las demás BTS están a distancias grandes que ya no son óptimas considerando los grandes edificios. En el caso de 3G se ve que las dos únicas estaciones que dan cobertura están a distancias que ya comprometen la calidad de la señal, el nodo llamado "Huánuco" que está ubicado a 321 metros, que si bien es cierto aún está en el rango de distancia permisible, considerando la gran cantidad de edificios altos que están en el recorrido antes de alcanzar el Hospital de Emergencias Pediátricas ya no suministrará de manera óptima la señal. Por otro lado, el Hospital de Emergencias Pediátricas también presenta una estructura de concreto muy gruesa lo cual, combinado con lo anteriormente expuesto, atenúa muy fuerte la señal.

Considerando esto se puede intuir que el problema de la imposibilidad de establecer comunicaciones es debido a que la señal de las antenas que proporcionan el servicio no llega al Hospital de Emergencias Pediátricas con niveles de potencia adecuados, es por esto que es necesario medir cual es el nivel de señal dentro del recinto para confirmar esto.

2.1.2 Mediciones Tomadas

Se tomaron medidas de cobertura de telefonía móvil para conocer con exactitud la situación dentro del Hospital. Estas mediciones también servirán para poder hacer una comparación con los resultados finales y así poder evaluar lo desarrollado y realizar conclusiones finales.

2.1.2.1 Herramientas y Métodos de Medición

Para el proceso de medición las herramientas fundamentales utilizadas fueron dos soluciones de la empresa Anite, los cuales son el *Nemo Handy* y el *Nemo Outdoor*. El primero es un teléfono móvil de última generación que tiene un software incorporado el cual permite medir los parámetros de la señal celular tanto en 2G o 3G, según lo que se necesite. Esta solución permite cargar un plano en formato JPG (*Joint Photographic Expert Group*) y realizar las mediciones colocando puntos en el plano. Mientras se camina y colocan más puntos el programa grafica los niveles del parámetro pedido, según una escala de colores editable. Luego de tener la medición hecha, ésta se guarda en la memoria y se prepara para el post procesamiento. Para las mediciones realizadas se utilizó la versión de Nemo Handy 3.40.174 que se cargó en un celular Nokia C7 como se aprecia en la Figura 2-3.



FIGURA 2-3: NEMO HANDY

Luego de tener las mediciones se tiene que procesar la información, esto se hace con el *Nemo Outdoor* que es un software que permite trabajar con los archivos generados con el *Nemo Handy*: permite ver a detalle los resultados de la medición y exportar los gráficos del *Nemo Handy* a formatos compatibles con otros programas. La interfase de trabajo de este software se puede apreciar en la Figura 2-4.

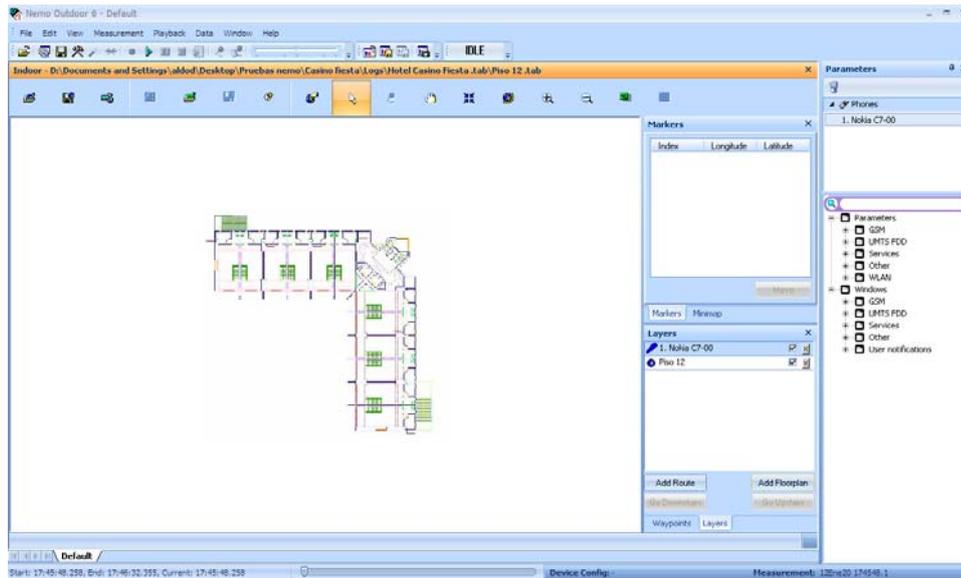


FIGURA 2-4: INTERFASE DE NEMO OUTDOOR

Las mediciones se tomaron en todos los pisos recorriendo las áreas comunes y pasadizos, no se midió en consultorios ni en áreas de hospitalización por disposición de la administración del hospital. Se permitió la medición de la totalidad de ambientes del edificio administrativo por estar vacío temporalmente, en cada piso.

2.1.2.2 Resultados e Interpretación

Se presentará los resultados de la medición hecha en el Hospital de Emergencias Pediátricas, en el 1er piso del edificio principal. Para 2G se midió el nivel de RxLev.

De la Figura 2-5 se puede observar que aproximadamente en el 70% del área de cobertura el nivel de RxLev está por debajo de -75 dBm, resultado que no es óptimo para establecer comunicación. Existen áreas donde el nivel está por debajo de -95 dBm con lo cual es imposible establecer comunicación. Parámetros como el C/I y el BLER sí serán presentados en las mediciones finales.

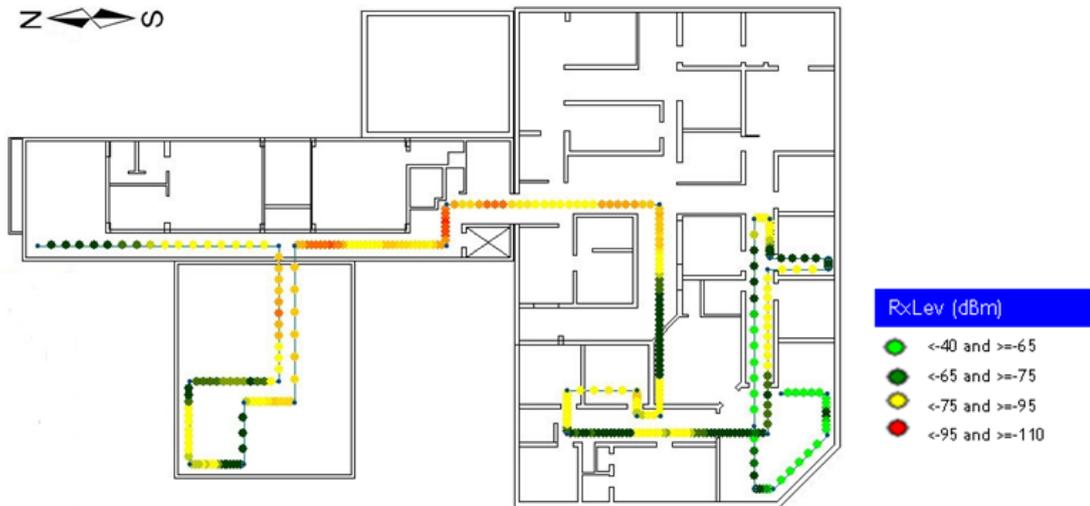


FIGURA 2-5: NIVEL DE RxLev

En el caso de 3G se midieron los niveles de RSCP, E_c/N_0 y *Scrambling Code*. Los niveles de TxPower y Throughput serán presentados en las mediciones finales.

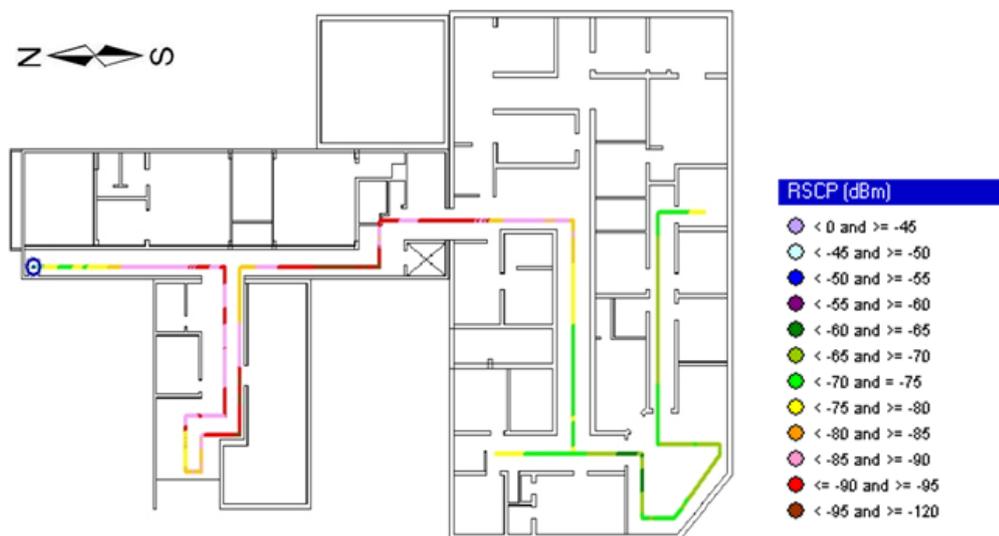


FIGURA 2-6: NIVEL DE RSCP

En la Figura 2-6 se observa que aproximadamente el 40% del área de cobertura está por debajo de -85 dBm lo cual hace muy difícil el establecimiento ó la continuidad de la comunicación si es que se establece.



FIGURA 2-7: NIVEL DE Ec/No

De la Figura 2-7 se observa que aproximadamente el 45% del área de cobertura está por debajo de -85 dBm lo cual nos indica que los niveles de ruido en el recinto son muy elevados y afectan drásticamente la calidad de la comunicación.

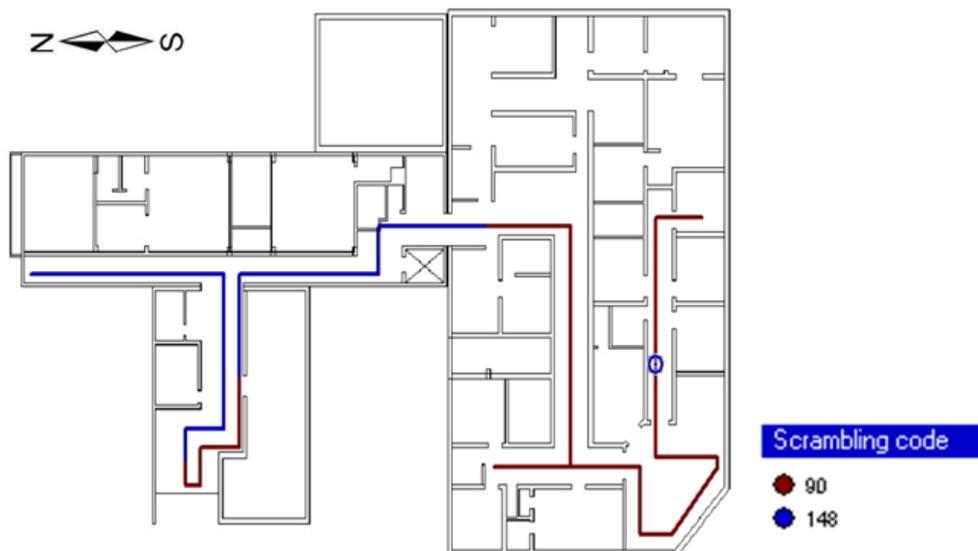


FIGURA 2-8: SCRAMBLING CODES

De la Figura 2-8 se observa que hay dos nodos B que dominan dentro del área de cobertura con lo cual al momento de pasar de la zona que está de color marrón a la de color azul se realizará un *handover*. En este caso no hay un nodo totalmente

dominante por lo tanto se darán múltiples *handovers* lo cual incrementa la probabilidad que la comunicación se corte.

Se analizó únicamente la situación en el piso 1 del edificio central porque es el espacio con mayor problema de cobertura, únicamente superado por el sótano del edificio administrativo en el cual no se realizaron mediciones puesto que no hay cobertura en lo más mínimo. Las demás mediciones se adjuntan en el Anexo de Mediciones Previas.

2.2 Alcances y Limitaciones de la Tesis

La siguiente tesis consistirá en el estudio y la implementación de la mejora de la señal de telefonía móvil, tanto 2G como 3G, en el Hospital de Emergencias Pediátricas que se encuentra en las condiciones descritas en el punto 2.1. El método elegido de optimización de cobertura de interiores es el de *RF Indoor*, tratado en el capítulo anterior.

El estudio permitirá brindar cobertura tanto al edificio administrativo como al edificio central, dándole prioridad a las áreas comunes, pasadizos y áreas con gran tránsito de personas. No se tomará en cuenta para efectos de evaluación de la solución las zonas de hospitalización, los interiores de consultorios y aquellas áreas que la administración del hospital restrinja el acceso. La zona que se tomará en cuenta para efectos de evaluación se le denominará “área de cobertura”. Se realizarán simulaciones de cobertura y la comprobación de ésta tras la puesta.

Para el caso de 2G el objetivo de la solución es el de lograr que en un 95% del área de cobertura se obtenga un RxLev mayor que -75 dBm, un C/I mayor a 15 dB y un BLER menor o igual a 5%. También, luego de la puesta de la solución se debe tener que en un 99.7% del área de cobertura el *Best Server* debe ser la señal dada por el sistema distribuido de antenas.

Para el caso de 3G el objetivo de la solución es el de lograr que en un 95% del área de cobertura se obtenga un RSCP mayor que -75 dBm, un E_c/N_0 mayor ó igual a -6 dB y un TxPower menor o igual a -20 dBm. También, luego de la puesta de la solución se debe tener que en un 99.7% del área de cobertura el *Scrambling Code* debe ser el brindado por el sistema distribuido de antenas. Por último, en un 90% del área de

cobertura se tendrá un *throughput* mayor o igual a 1.5 Mbps en el *downlink* y mayor o igual a 350 Kbps para el *uplink*.

El presente trabajo tocará también la implementación de las unidades de banda base, las unidades de radio remotas, *splitters* y antenas; todo esto con el respectivo cableado en toda el área de cobertura al interior del hospital.

El servicio celular propiamente dicho es brindado por el operador el cual hará llegar el servicio a través de una fibra óptica que se conectará al sistema. La forma en que esta fibra óptica llegue a la ubicación de los equipos no será motivo de análisis en esta tesis puesto que eso será diseñado e implementado por el operador y conlleva un trabajo de rutina para áreas operativas de transporte.

2.3 Propuesta de la Arquitectura de la Solución

Como se dijo en el punto 2.2 la solución de optimización a utilizar será *RF Indoor*. Se eligió esta solución puesto que es la que mejor se acomoda para el tipo de mejora que se necesita. Como se describió en el capítulo anterior existen dos soluciones de optimización *indoor*, aparte de *RF Indoor*, los cuales son los repetidores de banda y canal y las femtoceldas.

La primera de estas, como ya se explicó, toma la señal de una celda, la amplifica y la concentra dentro del edificio. El inconveniente con este método es que se toman los recursos de una celda ya existente y, como se vio en el análisis del problema, la zona del Hospital de Emergencias Pediátricas presenta gran movilización de personas por la cercanía al Hospital Almenara, por lo que usando repetidoras se solucionaría el problema de cobertura al interior del hospital pero se generaría un gran problema de congestión en las celdas con lo cual las comunicaciones tampoco se podrían realizar.

En cuanto a la solución por medio de femtoceldas, si bien es cierto no se tiene el problema de sobrecarga que se tiene con las repetidoras, igual se tiene un gran inconveniente. Como se sabe las femtoceldas son celdas a escala muy pequeña pero igual siguen siendo celdas con sus propios parámetros, esto quiere decir que cada vez que se pase de la cobertura de una femtocelda a otra se tendrá un *handover*. Considerando que el área del hospital es de 1774 m² y que cada femtocelda cubre entre 100 y 150 m², en el mejor de los casos, se tendría que implementar entre 12 a

18 femtoceldas a lo largo del hospital. Esto quiere decir que se tendrán de 12 a 18 sectores en un solo edificio con lo cual la cantidad de handovers que se darán será tal que no se puede garantizar que la comunicación no se interrumpiría en el caso de un usuario movilizándose por las instalaciones del hospital.

La solución utilizando *RF Indoor* logra una cobertura óptima dentro de un edificio sin ocupar tráfico de las celdas externas y, en teoría, generando un solo sector. Esta solución es la que mejor se acomoda al problema de cobertura en el hospital ya que servirá como descarga de celdas aledañas y logrará una óptima señal al interior de las instalaciones. A pesar de que el despliegue de esta solución requiere de mayor trabajo y recursos que el despliegue de femtoceldas, las ventajas a largo plazo tanto económicas como de desempeño de la red hacen valer el esfuerzo. Esto será verificado cuando se analice los resultados finales.

2.3.1 Arquitectura de la Solución

Se implementará una solución que tomará en cuenta tanto 3G como 2G, es por esto que se presentarán dos ramificaciones en la red ya que se necesitará un nodo para 2G y otro para 3G. Para el caso de 3G la señal proveniente de la red principal del operador llegará a una BBU por medio de fibra óptica, esta señal necesita ser rectificadora para corregir las degradaciones de la señal óptica durante su transporte. Luego la señal saliente de la BBU irá a una RRU donde se hará el cambio frecuencial y se pasará a transmitir por cable coaxial. Por otro lado, para el caso de 2G la señal llegará a la BTS, la cual también necesita ser rectificadora, y la salida de esta irá por fibra óptica a un Módulo de Radio, que tiene funciones similares a la RRU. Las dos señales, de 2G y 3G, pasarán por un duplexor que combinará ambas señales para que sean transportadas a través de los *splitters* hacia las antenas que finalmente darán la cobertura al recinto. Estas antenas darán al mismo momento cobertura 2G y 3G ya que tienen un amplio rango de frecuencias de operación lo cual hace esto posible.

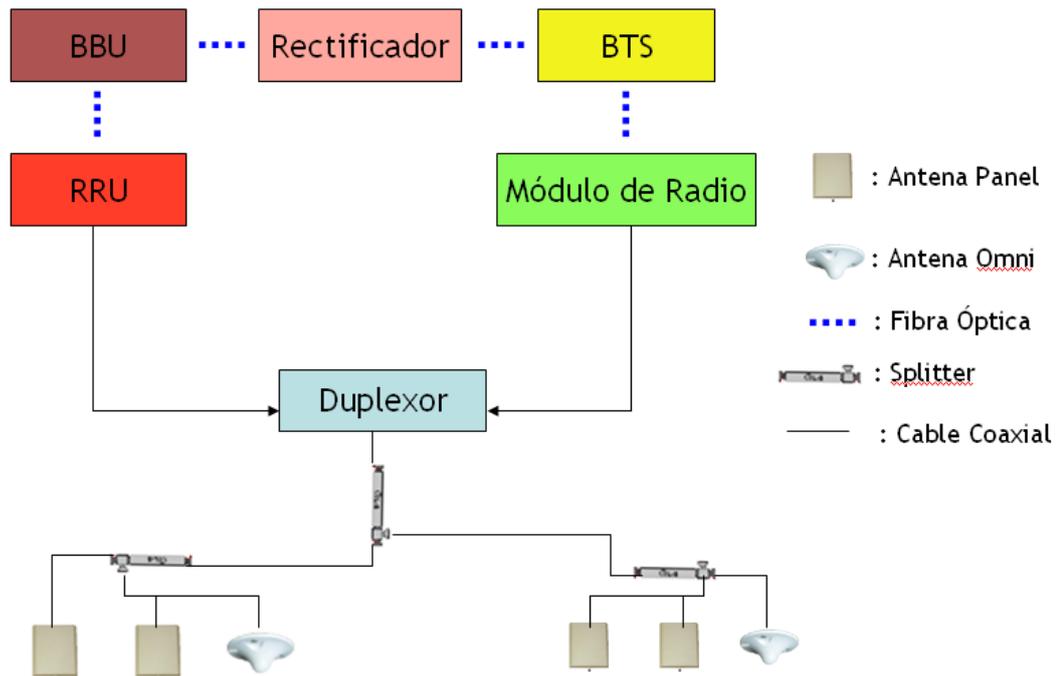


FIGURA 2-9: ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN

En la Figura 2-9 se puede apreciar de forma gráfica la arquitectura que tendrá la solución propuesta de forma intuitiva. Se debe precisar que el número de RRUs y antenas mostrados en la figura es solamente referencial, la cantidad real de equipos a utilizar y la longitud del cableado se conocerá una vez realizado los diseños y simulaciones de cobertura respectivos. Antes de iniciar la etapa de diseño es preciso detallar en qué consiste la tecnología a utilizar en la solución.

2.3.2 Tecnología de la solución

Definida la arquitectura de la solución se debe especificar la definición y función de cada bloque de la arquitectura. Por ello es que se dará un vistazo a la BBU, BTS, RRU, Módulo de Radio y splitters.

La BBU responde a las siglas de *Base Band Unit* y, como su nombre en inglés hace suponer, será el elemento que trabaja en banda base, es decir con la información previa a la asociación con una portadora y un canal de transmisión. Esta unidad se encargará de recibir la información redirigiéndola y asignando canales y los *scrambling codes* de cada sector, también será la encargada del control de potencia del sistema radiante y el de gestionar los *handovers*. [KAR2004] La BBU será el elemento que está conectado directamente a la red principal del operador siendo la salida de toda la

arquitectura hacia la red pública. En el caso de la BTS sus funciones serán muy parecidas en lo que a señalización y control se refiere, con la diferencia de que en el caso de 2G no se utilizan códigos por lo que los sectores estarán delimitados por bandas de frecuencia. [HEI1998] Estos dos elementos serán los que gestionen los procesos lógicos de la red implementada uno para 3G y el otro para 2G.

Por otro lado la RRU será la encargada de realizar el cambio de banda base a la banda de operación de la red, para el caso de la solución propuesta esta subida de frecuencia se dará a la banda de 850 MHz. Además de esto, la RRU delimitará un área de cobertura con las antenas que estén conectadas a él así como también asignará un *scrambling code* a esta área de cobertura, el código a utilizar por cada RRU será elegido por la BBU. En contraparte, el Módulo de Radio en 2G tendrá básicamente la misma función que la RRU pero, en este caso, no se asignarán códigos por lo que la función de este módulo será la de realizar el cambio de banda base a la banda de 1900 MHz. y delimitar un sector. Este Módulo de Radio soporta 3 sectores de 60 Watts de salida cada uno que será dividido equitativamente en la cantidad de TRX por sector que se tenga. [TOL2008]

El duplexor, en nuestra solución, será el elemento que combine la señal de 2G junto a la de 3G para que sean transmitidas por el mismo canal. Estas señales al estar ampliamente separadas en frecuencia no se acoplarán al combinarse. La salida de este duplexor será una única señal con dos portadoras que contendrá información de 2G en la banda 1900 y de 3G en 850. Esta señal será irradiada por el sistema radiante y el móvil será el encargado de determinar a cual de las portadoras engancharse.

Los *splitters*, por su parte, serán los elementos pasivos que dividirán la potencia de la señal para generar bifurcaciones en el tendido de cable hasta llegar a abastecer de señal a todas las antenas. Estos *splitters* serán simétricos, es decir, que dividirán equitativamente la señal entrante ya sea en dos o tres salidas. Estos elementos serán los que dosificarán la potencia que llegue a cada antena.

Definido esto se procederá a implementar el diseño, propiamente dicho, de la solución planteada.

Capítulo 3

Diseño e Implementación de la Solución

Una vez realizadas las visitas técnicas respectivas, y recabada la información descrita en el capítulo 2, donde se definió la problemática de este caso, se hizo un estudio de la situación actual y se planteó la solución. En este capítulo se realizará el diseño a detalle de la solución. Para esto se necesita, en primer lugar, definir detalladamente los equipos que se utilizarán, realizar el diseño y predicciones, y por último llevar a cabo las simulaciones hechas. En este capítulo se tratará a fondo el desarrollo de la solución y su implementación.

3.1 Equipamiento a Utilizar

Previamente se definieron los elementos que componen una red *RF Indoor* y cómo es que estas partes se interconectan dentro de su arquitectura. Se definieron conceptos como BBU, RRU, Módulos de Radio etc. Sin embargo estos equipos tienen distintas versiones y fabricantes los cuales hacen variar el desempeño del equipo así como también su precio. Es por ello necesario el determinar cuáles serán los equipos específicos que se usarán antes de realizar el diseño. La elección de estos equipos se hizo pensando en las necesidades propias de la solución, el prestigio de ciertos fabricantes y la comodidad de precios.

Para la realización de la solución se utilizará una BBU 3900 del proveedor Huawei la cual soporta las tecnologías GSM, UMTS, GSM y UMTS en simultáneo y LTE. Esta BBU tiene 8.6 cm. de alto, 44.2 de ancho y 31 cm. de profundidad, y no debe operarse a una temperatura mayor a 55° C. Para el caso de la BTS para 2G se utilizará una *Flexi Multiradio* del proveedor Nokia Siemens, el cual tiene una dimensión de 50 cm. de ancho, 40 cm. de alto y consume 790 Watts de potencia. Esta BTS es muy compacta lo cual la hace ideal para el tipo de solución que se plantea. Los fabricantes de estos dos equipos se eligieron puesto que el operador que brindará el servicio utiliza equipos de estos fabricantes en sus redes 2G y 3G, con lo cual se evita tener problemas de compatibilidad entre equipos.

Se utilizará un Rectificador dentro de un gabinete *Valere Power* tanto para la BBU como para la BTS, este gabinete tendrá 2.1 metros de alto, 75 cm de largo y 85 cm. de ancho. Este rectificador dará soporte tanto a la BTS como a la BBU.

En cuanto a la RRU se utilizará una RRU 3908 del proveedor Huawei que tendrá una sensibilidad de receptor de -125.5 dBm. y una dimensión de 50 cm. de alto, 38 cm. de largo y 17 cm. de ancho. Esta RRU puede soportar hasta 18 antenas sin que se presente problemas con la señal a transmitir. Para 2G se tendrá un Módulo de Radio Flexi Multiradio de 3 sectores y de 70 W. de consumo de potencia. Estos equipos son del mismo fabricante y serie de la BBU y la BTS.

Los *splitters* a utilizar serán los modelos PDC2E, para *splitters* de 2 vías, y PDS3E, para *splitters* de 3 vías, ambos del fabricante RFS, de conector N - *Female* y que operan en el rango de frecuencias desde 700 a 2700 MHz., lo cual satisface las bandas de frecuencias que se utilizan tanto para GSM como UMTS. También se tendrá que el duplexor será del mismo fabricante y del modelo DBCS que tendrá una pérdida de inserción muy baja que será menor a 0.4 dB. y que está diseñado para acoplar señales que estén en los rangos entre 800 a 960 MHz. y entre 1710 a 2170 MHz.

El cable coaxial elegido para el desarrollo de la solución será el cable LCF12-50J del fabricante RFS el cual se eligió debido a su baja pérdida ya que en la banda 850 se atenúa 6.5 dB cada 100 metros y en la banda 1900 se atenúa 10 dB cada 100 metros. Este cable será de ½" de diámetro, no se consideró necesario el utilizar cables de

mayor diámetro puesto que el recinto del hospital no presenta tramos demasiados largos que requieran el uso de cables de 7/8" de diámetro.

Por último, las antenas a utilizar serán los modelos I-ATP1, para las antenas panel que tendrán 7 dB de ganancia para la banda 850 y 10 dB para la banda 1900, e I-ATO1, para las antenas omnidireccionales que tendrán 2 dB de ganancia para la banda 850 y 5 dB para la banda 1900. Ambas antenas son de la marca RFS y fueron elegidas por el amplio rango de frecuencias en los que opera que permite que nuestro diseño en un futuro pueda soportar LTE ya que estas antenas pueden operar en la banda 2100 Mhz.

Las fichas técnicas de cada componente de nuestra red se adjuntan en el Anexo de Equipos, en donde se puede apreciar a detalle las prestaciones técnicas de cada elemento en su totalidad.

3.2 Diseño de la Solución

Conociendo ya los equipos que se usarán ya es posible realizar un diseño exacto de la solución. Para esto se necesitará definir la ubicación de los equipos, las predicciones de cobertura, los diagramas unilineales, los cuadros de potencia del sistema a implementar y un alcance económico de la solución a implementar.

3.2.1 Ubicación de Equipos

Tras la visita técnica y conversaciones con la administración del hospital, ésta dispuso ciertos lugares en donde era posible colocar los equipos de gran envergadura, como los gabinetes con la BBU, Rectificador y la BTS, luego de que consideraran su disponibilidad de espacio y planes de ampliación futuros. Una vez conocidas las posibles ubicaciones de los equipos se eligieron aquellos en que se tenga la ubicación más céntrica posible para reducir tramos de cable entre equipos y en donde se esté lo más cerca posible de las montantes de que interconectan los pisos.

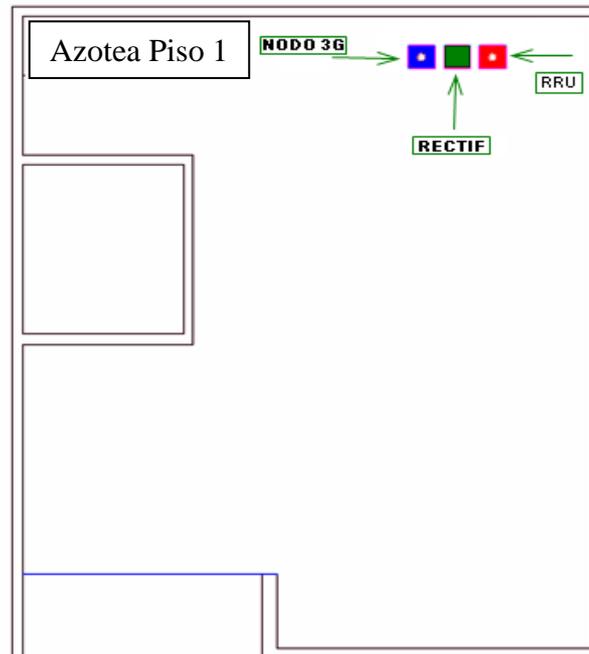


FIGURA 3-1: UBICACIÓN DE BBU, RRU Y RECTIFICADOR

La ubicación del BBU, RRU y Rectificador será en la azotea del piso 1 del local central como se ve en la Figura 3-1. La montante del edificio está próxima a los equipos, razón por la que se les colocó muy cerca de la pared.

Por otro lado la BTS se colocará en la azotea del piso 3 del edificio como se observa en la Figura 3-1. La BTS no se colocó junto a los demás equipos porque se quiso aprovechar la cercanía existente con el tablero de energía eléctrica que se ubica en dicha azotea. Idealmente se quería ubicar los equipos colocados en la azotea del primer piso en este nivel pero la falta de espacio hacía imposible instalar gabinetes de gran tamaño en este lugar.

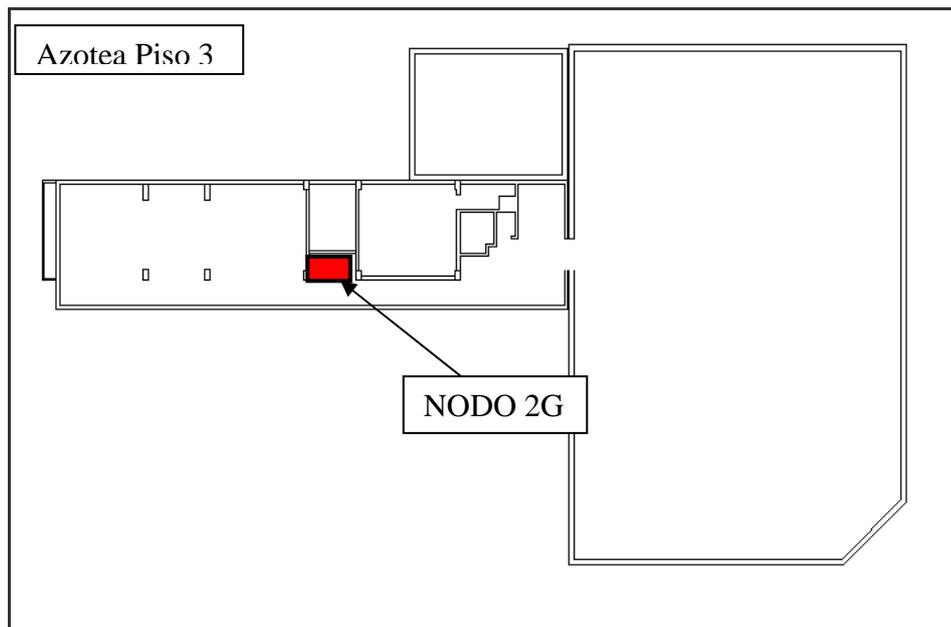


FIGURA 3-2: UBICACIÓN DE BTS EN LA AZOTEA DEL PISO 3.

Definida la ubicación de estos elementos se procederá a realizar el siguiente paso del diseño de la solución, en donde se decidirá la ubicación de las antenas y se realizarán las predicciones de cobertura.

3.2.2 Predicciones de cobertura

Para realizar el diseño se utilizará un programa profesional para este tipo de trabajo llamado iBwave Design en su versión 5.2.7. Este programa es muy versátil y permite realizar predicciones de cobertura muy precisas puesto que nos permite modelar el edificio en el que se pretende dar cobertura. Este modelado permite considerar la altura de cada ambiente, el grosor de las paredes que existen y el material de las estructuras. Por esto es que el primer paso para el diseño será el modelado del Hospital de Emergencias Pediátricas colocando todas las características del lugar, los cuales fueron obtenidos gracias a la visita técnica realizada con consentimiento de la administración del hospital. El resultado de este modelado es una vista del lugar en 3D como se muestra en la Figura 3-3.

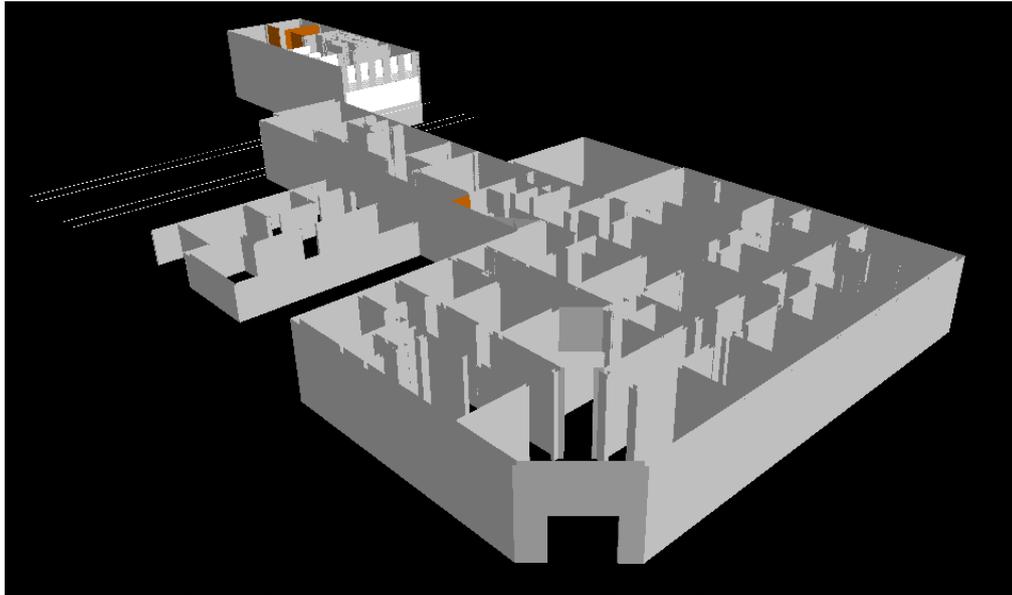


FIGURA 3-3: VISTA 3D DEL HOSPITAL.

Una vez conseguida esta vista cuando se trabaje sobre los planos el programa asociará lo realizado en plano con el diseño en 3D con lo cual se harán predicciones considerando cada una de la estructuras que afectan la propagación de la señal.

Una vez hecho lo anterior, se procede a realizar el emplazamiento de las antenas en nuestro diseño. Para esto se debe tener en cuenta el lugar en que se encuentran los equipos (definidos en el punto 3.2.1) para idear cómo llegará el cableado a las antenas y cómo se distribuirán los splitters. También se tiene que asegurar que la señal quede en el recinto y no genere interferencia a los móviles que transiten por las calles aledañas, por esto es que se tendrá como patrón de diseño el utilizar antenas paneles altamente directivas apuntando hacia el interior en los extremos del edificio y usar antenas omnidireccionales lo más cerca al centro del edificio para evitar que la señal llegue a la calle. También se debe asegurar que se cumplan los objetivos descritos en el punto 2.2 por lo tanto se debe tener cuidado con la distribución de potencias para poder alcanzar las metas propuestas.

Con esto en mente se hace el diseño de la red, proceso que demanda paciencia puesto que el resultado esperado difícilmente se obtiene con la primera configuración propuesta. Al igual que con los resultados de la mediciones de cobertura en el capítulo 2, se mostrará únicamente las predicciones del piso 1, tanto para 2G como 3G, y el resto de los niveles se adjuntarán en el Anexo de Predicciones.

3.2.2.1 Predicción de cobertura – Diseño para 2G

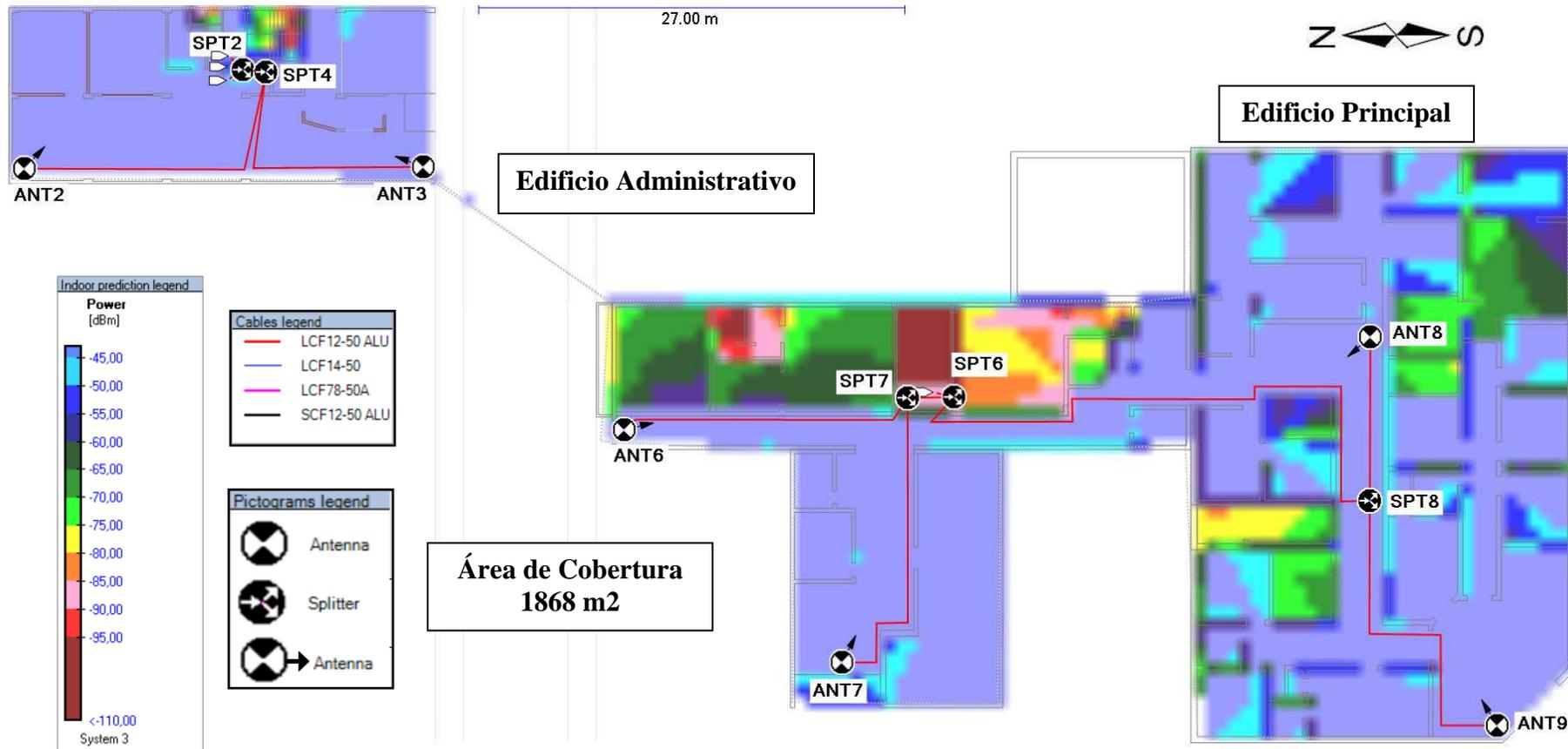


FIGURA 3-4: PREDICCIÓN DE COBERTURA 2G PISO 1.

3.2.2.2 Predicción de cobertura – Diseño para 3G

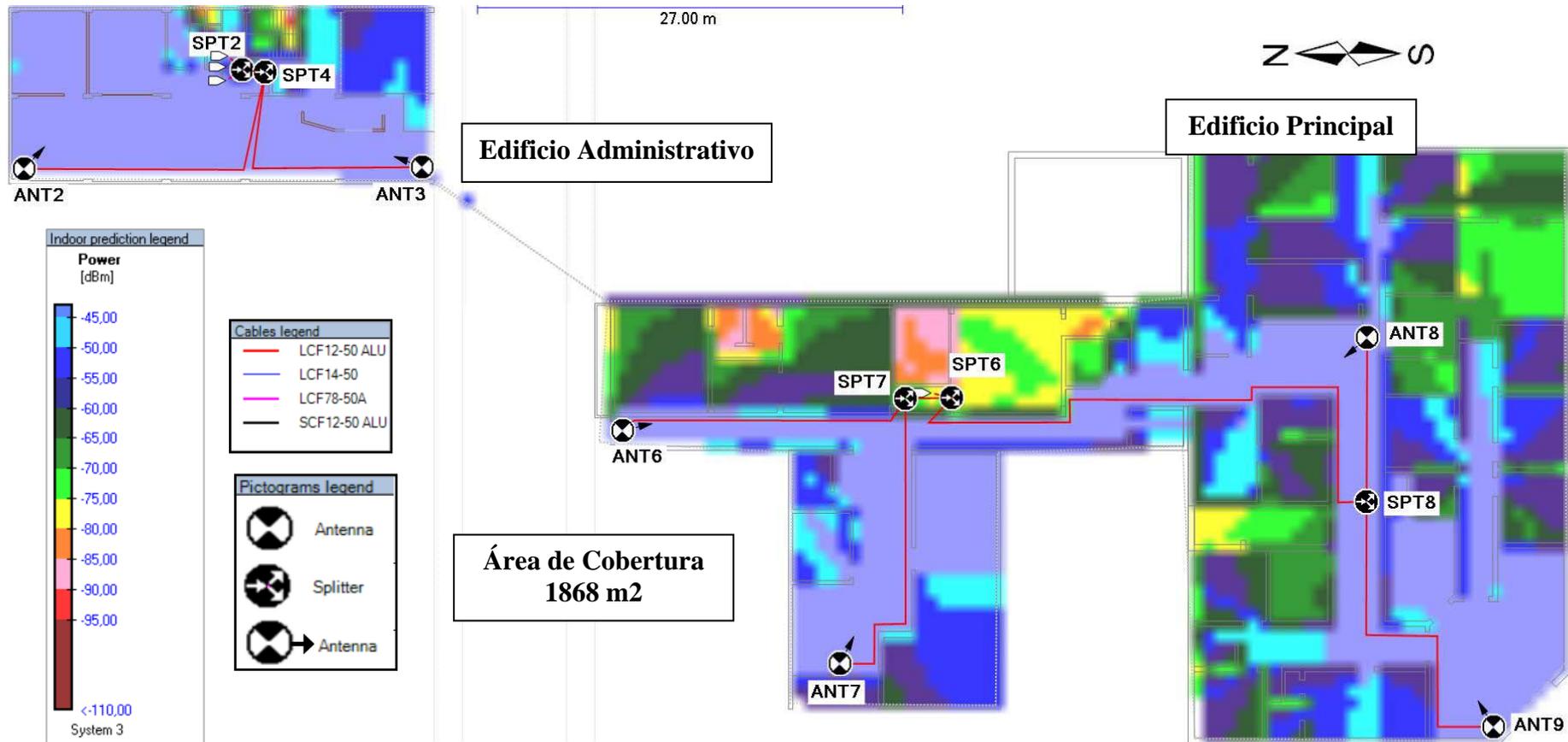


FIGURA 3-5: PREDICCIÓN DE COBERTURA 3G PISO 1.

Se puede observar en las Figuras 3-4 y 3-5 que se lograría mejorar considerablemente la cobertura dentro del piso 1, que es uno de los más críticos, con el arreglo de antenas propuesto, tanto en 2G como en 3G. Este diseño asegura que se cumplan los objetivos propuestos, como se ve en las figuras donde se muestra los niveles de RxLevel y RSCP que están por encima de -75 dBm en más del 95% del área de cobertura. Se aprecia, también, la ubicación de los *splitters* y como estará distribuido el cableado dentro del piso. Como se dijo anteriormente, los diseños del resto de pisos se mostrará dentro del anexo respectivo en donde se muestran la ubicación exacta de cada antena. A continuación se mostrará los resultados luego del diseño de cobertura por piso.

Es necesario precisar que la conexión entre el edificio principal y el edificio administrativo se hará mediante cable aéreo y, las gestiones y permisos pertinentes para este despliegue lo realizará la administración del hospital juntamente con el operador.

3.2.3 Cuadros de Potencias del Diseño

Un punto clave que se debe tener en cuenta para verificar el diseño realizado es el denominado *Link Budget* ó cálculo de potencias en donde se calcula todas las ganancias y pérdidas de la red para determinar la potencia real que irradia el sistema radiante. En este caso el programa *iBwave Design* simplifica esta tarea puesto que luego de hacer las simulaciones de cobertura genera automáticamente el cálculo de potencia lo cual permite conocer en cada paso los puntos donde la potencia irradiada no es óptima. En las Tablas 3-1 y 3-2 se ven los cuadros de potencias del diseño tanto para 2G como para 3G respectivamente. En estas tablas se puede observar campos como la atenuación del cable, la atenuación de los *splitters* que existen en el recorrido del cable, la ganancia de las antenas para concluir en el último campo que da la potencia que irradia la antena en cuestión. Es necesario precisar que para los cálculos de potencia realizados por el *iBwave Design* se asumió una potencia de salida de los equipos de 30 dBm referenciado a 1 miliwatt.

En ambas tablas se aprecia que las antenas 1 y 10 tienen ganancia negativa, esto se debe a que estas dos antenas son las únicas omnidireccionales utilizadas en el diseño y como se busca no irradiar potencia fuera del edificio, se buscó adrede que estas antenas tengan pérdida para asegurar que esto se cumpla.

3.2.3.1 Cuadro de Potencias 2G

TABLA 3-1: CUADRO DE POTENCIA 2G.

Antena	Pérdida por Cable		Pérdida por Splitters			Pérdida por Combinador		Salida del sistema (dB)	Ganancia Antena (dB)	Potencia Irrradiada por Antena (dB)
	Longitud (m)	Pérdida (dB)	Cantidad (L=-3.05 dB)	Cantidad (L=-4.85 dB)	Pérdida Total (dB)	Pérdida Total (dB)				
Ant 0	101.83	-13.2	2	1	-10.95	-3.5	31	7.85	11.2	
Ant 1	89.97	-11.95	2	1	-10.95	-3.5	31	-1.25	3.35	
Ant 2	99.29	-12.93	2	1	-10.95	-3.5	31	7.85	11.47	
Ant 3	95.94	-12.58	2	1	-10.95	-3.5	31	7.85	11.82	
Ant 4	100.95	-13.11	2	1	-10.95	-3.5	31	7.85	11.29	
Ant 5	100.17	-13.03	2	1	-10.95	-3.5	31	7.85	11.37	
Ant 6	61.12	-9.43	3	1	-14	-3.5	31	7.85	11.92	
Ant 7	62.96	-9.62	3	1	-14	-3.5	31	7.85	11.73	
Ant 8	86.24	-12.06	3	1	-14	-3.5	31	7.85	9.29	
Ant 9	98.09	-13.31	3	1	-14	-3.5	31	7.85	8.04	
Ant 10	60.81	-8.9	1	2	-12.75	-3.5	31	-1.25	4.6	
Ant 11	73.43	-10.22	1	2	-12.75	-3.5	31	7.85	12.38	
Ant 12	92.05	-12.18	1	2	-12.75	-3.5	31	7.85	10.42	
Ant 13	51.66	-7.94	1	2	-12.75	-3.5	31	7.85	14.66	
Ant 14	57.38	-8.54	1	2	-12.75	-3.5	31	7.85	14.06	
Ant 15	112.57	-14.54	1	2	-12.75	-3.5	31	7.85	8.26	

3.2.3.2 Cuadro de Potencias 3G

TABLA 3-2: CUADRO DE POTENCIA 3G

Antena	Pérdida por Cable		Pérdida por Splitters			Pérdida por Combinador	Salida del sistema (dB)	Ganancia Antena (dB)	Potencia Irradiada por Antena (dB)
	Longitud (m)	Pérdida (dB)	Cantidad (L=-3.05 dB)	Cantidad (L=-4.85 dB)	Pérdida Total (dB)	Pérdida Total (dB)			
Ant 0	81.08	-11.47	2	1	-10.95	-3.5	30	7.85	11.93
Ant 1	69.22	-10.16	2	1	-10.95	-3.5	30	-1.25	4.14
Ant 2	78.54	-11.2	2	1	-10.95	-3.5	30	7.85	12.2
Ant 3	75.19	-10.83	2	1	-10.95	-3.5	30	7.85	12.57
Ant 4	80.2	-11.38	2	1	-10.95	-3.5	30	7.85	12.02
Ant 5	79.42	-11.29	2	1	-10.95	-3.5	30	7.85	12.11
Ant 6	40.27	-7.47	3	1	-14	-3.5	30	7.85	12.88
Ant 7	42.11	-7.67	3	1	-14	-3.5	30	7.85	12.68
Ant 8	65.39	-10.24	3	1	-14	-3.5	30	7.85	10.11
Ant 9	77.24	-11.55	3	1	-14	-3.5	30	7.85	8.8
Ant 10	39.96	-6.93	1	2	-12.75	-3.5	30	-1.25	5.57
Ant 11	52.58	-8.32	1	2	-12.75	-3.5	30	7.85	13.28
Ant 12	71.2	-10.38	1	2	-12.75	-3.5	30	7.85	11.22
Ant 13	30.81	-5.92	1	2	-12.75	-3.5	30	7.85	15.68
Ant 14	36.53	-6.55	1	2	-12.75	-3.5	30	7.85	15.05
Ant 15	91.72	-12.66	1	2	-12.75	-3.5	30	7.85	8.94

3.2.4 Diagramas Generales de la Solución

3.2.4.1 Vista de Distribución Frontal

Luego de realizar el diseño de cobertura por piso el programa iBwave nos arroja un diagrama unilineal donde se muestra el diseño completo, detallando los equipos usados, distancia de cables etc. En la Figura 3-6 se puede observar este diagrama unilineal con todas las antenas a utilizar y su distribución. Se puede decir que este diagrama es la arquitectura detallada de la solución.

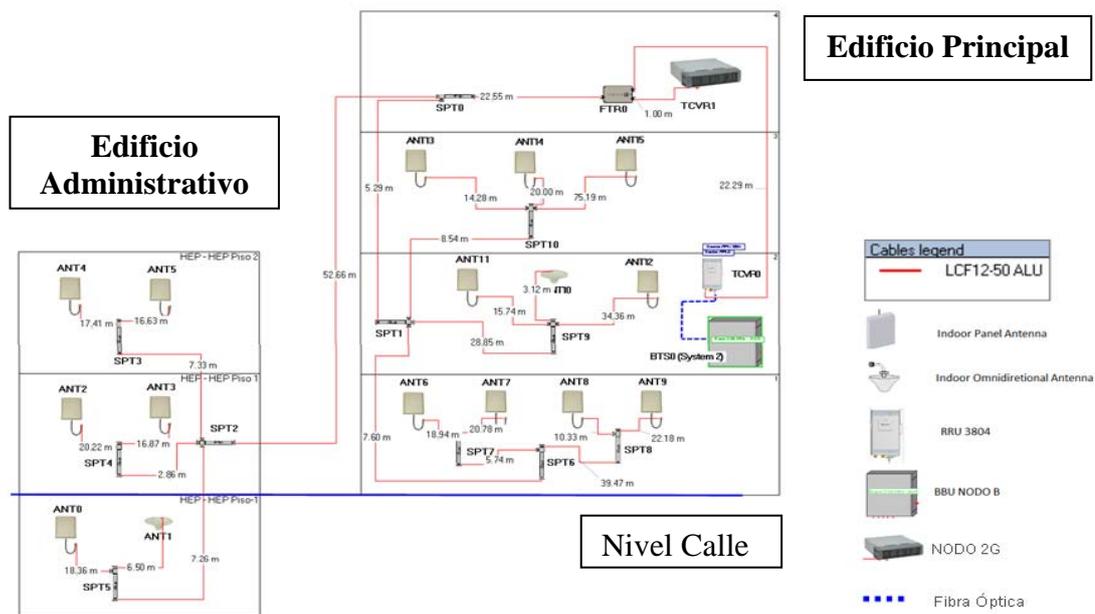


FIGURA 3-6: VISTA DE DISTRIBUCIÓN FRONTAL.

En esta vista se detalla la cantidad de antenas por piso y la longitud del cableado, mas no la ubicación exacta de equipos que es mostrado en las predicciones de cobertura descritas en el punto 3.2.2.

3.2.4.2 Diagrama de Unilineal Eléctrico

Conocida la distribución del sistema de antenas y de los equipos de RF se debe considerar el tema eléctrico de la solución, dígame las tomas de corriente eléctrica y los puntos de toma a tierra.

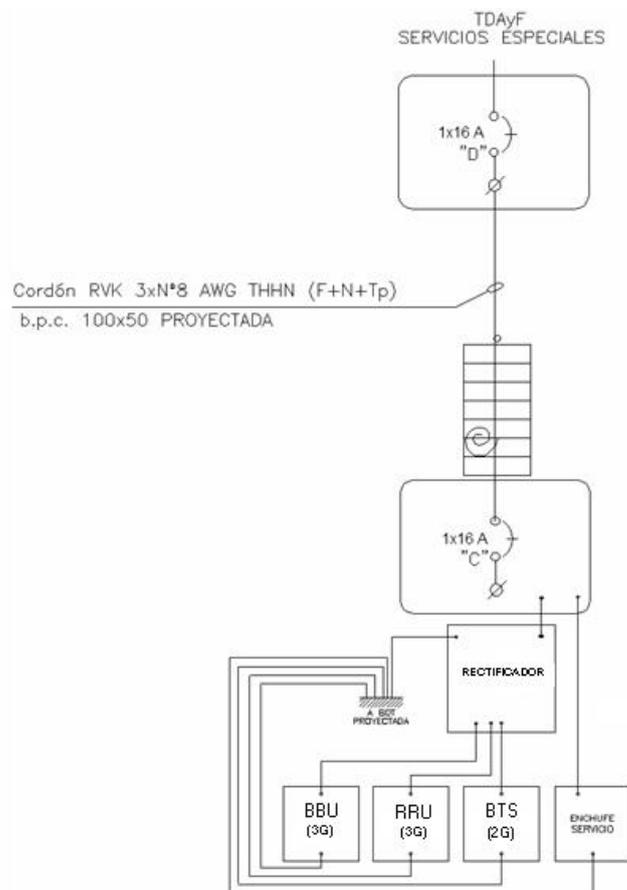


FIGURA 3-7: DIAGRAMA UNILINEAL ELÉCTRICO.

En la Figura 3-7 se detalla cómo será la distribución eléctrica de la red a implementar. Se puede apreciar que el rectificador será el único equipo de RF que se conecta directamente a la red eléctrica, por lo tanto se encargará, aparte de su función inicial, a alimentar a los demás elementos. Se consideró el implementar un enchufe de servicio junto a los equipos para poder energizar fácilmente equipos al momento de realizar reparaciones, mantenimientos y ampliaciones futuras. En el gabinete donde se hallará al rectificador existe un interruptor de energía eléctrica el cual se ve reflejado en la Figura 3-7 como el bloque en donde se conecta el rectificador y el enchufe de servicio. Los cables de energía serán llevados a través de bandejas hacia el tablero principal de electricidad del edificio que se encuentra en la azotea del 3er piso. Cada equipo tendrá su respectiva conexión a la puesta de tierra del edificio.

3.2.4.3 Listado de Materiales

Concluido el proceso de diseño de la solución la herramienta iBwave genera un cuadro resumen indicando los materiales que se deben utilizar y su cantidad. Cabe resaltar

que esta lista no es completa puesto que falta adicionar elementos propios de una instalación como son las cajas de paso, canaletas etc., y no se considera los imprevistos que naturalmente se dan en el proceso de instalación que producen el tener que utilizar mayor cantidad de cables ó conectores que el que se tenía en mente. Sin embargo esta lista preliminar ayuda a facilitar el proceso de planeamiento de la instalación ya que nos dará la mínima cantidad necesaria de elementos para desplegar la solución, con lo cual se puede comenzar a hacer un presupuesto aproximado del costo total del proyecto.

En la Tabla 3-1 se puede apreciar la lista de materiales que arroja iBwave para el diseño de la solución *indoor* del Hospital de Emergencias Pediátricas. En esta tabla se puede observar que se indica cada elemento que formará parte de la red y se dan detalles de estos como el fabricante, modelo, una breve descripción y la cantidad requerida para propósitos de implementación.

TABLA 3-3: LISTA DE MATERIALES DEL DISEÑO EN IBWAVE DESIGN.

Equipo	Modelo	Descripción	Cantidad
Antena	I-ATO1-800/2700	Antena omnidireccional Indoor para CDMA, GSM, DCS, PCS - 806-960 MHz/ 1710-2500 MHz / 2500-2700 MHz	2
Antena	I-ATP1-800/2700	Antena panel Indoor para CDMA, GSM, DCS, PCS - 806-960 MHz/ 1710-2500 MHz / 2500-2700 MHz	14
Cable	LCF12-50 ALU	Cable Flexible de 1/2" y de baja pérdida	498.16 m.
Conector	NM-LCF12ALU		54
Splitter	PD2-700/2700	Divisor de potencia de dos vías con amplio espectro - (700/2700 MHz) - y de conector tipo N.	7
Splitter	PD3-700/2700	Divisor de potencia de tres vías con amplio espectro - (700/2700 MHz) - y de conector tipo N.	4
Filtro	TA-801924 Combiner	Combinador de múltiples portadoras	1
Radio Transceiver	Flexi Edge	Banda Base y Módulo de Radio para GSM	1
Radio Transceiver	RRU3004	Unidad de Radio Remota para 3G	1
Base Band Unit	BBU3900	Unidad de Banda Base para 3G	1
Rectificador		Convierte AC a DC estables. Para módulos de 2G y 3G	1

3.3 Consideraciones de la Instalación

Teniendo el diseño realizado es momento de entrar en la siguiente etapa que es la implementación del diseño. Para esto es necesario tener ciertas consideraciones previas a la instalación.

Con respecto a la infraestructura del hospital se tiene que el material en el edificio central es concreto y no se tiene facilidades de techos falsos, mientras que en el edificio administrativo tampoco hay techo falso pero las paredes están hechas con drywall lo cual facilita el trabajo de instalación. Ante esto, en coordinación con la administración del hospital, se decidió que en el edificio central el cable coaxial se transportará a través de tubería de PVC de 1" adosada a la pared a lo largo de las instalaciones y que en sitios visibles se cubra esta tubería con canaletas también adosadas a pared. Cabe resaltar que para el cableado externo, aquel que se encuentra a la intemperie, se utilizó tubería conduit metálica de 1" para brindar una mayor protección al cable.

Para la conexión de los dos edificios que conforman el hospital se consideró llevar el cable coaxial de forma aérea siguiendo el mismo camino de los cables de otros servicios que interconectan ambos edificios. Este tramo de tendido requerirá que el cable coaxial vaya junto a un respectivo cable guía.

Cada splitter estará protegido por una caja de paso de dimensiones 40cm. x 30cm. X 15 cm.

Por último la administración del hospital dispuso que los trabajos se realicen únicamente en días laborales y en jornadas de 6 horas, entre las 8 am. y las 3 pm.

3.4 Implementación y Puesta de la Solución

Teniendo los diseños y las consideraciones definidas se realizó la implementación de la red. La instalación de los equipos estuvo prevista para realizarse en tres semanas pero debido a la restricción de tiempo de trabajo ya explicado se terminó en un lapso de un mes. Este trabajo fue llevado a cabo por un grupo de cuatro técnicos que en todo momento eran supervisados por un ingeniero.

Los trabajos se iniciaron en el edificio administrativo tratando de aprovechar la ventaja que este edificio se encuentra en fase de remodelación por lo que no había

trabajadores del hospital en la zona lo cual facilitaba en gran manera los trabajos de instalación. Fue en esta primera etapa que se tuvo el primer inconveniente puesto que la cantidad de columnas que presentan las instalaciones produce que el cableado tenga múltiples curvas en su recorrido. Esto fue problemático puesto que el cable coaxial utilizado, por no ser *superflex*, no seguía la trayectoria del tubo en las curvas ya que estas curvas estaban muy próximas entre sí. Ante esto se tuvo que utilizar cable corrugado en estos tramos.

Fuera de esto, la instalación en el edificio administrativo no tuvo mayores problemas por lo que se prosigió a realizar la instalación en el edificio principal. En este lugar no se tuvieron mayores inconvenientes salvo los cuidados que se debía tener por la gran cantidad de personas que requirieron mayores consideraciones para evitar ser molestos y evitar accidentes. También se tuvo cuidado en ciertas zonas de no hacer mucho ruido por consideración a los pacientes del hospital, lo cual provocó algunas demoras. A pesar de las restricciones de horario de trabajo y lo antes mencionado los trabajos se realizaron a buen ritmo, cumpliendo con los requerimientos de hospital y finalizando en un periodo razonable de 24 días hábiles.

A continuación se muestra la puesta de los equipos al interior del hospital.



FIGURA 3-8: PUESTA DE LOS EQUIPOS.

Se observa en la Figura 3-8 los equipos instalados en la azotea del hospital listos para operar. Ahora se mostrará la imagen de algunas antenas y splitters instalados al interior del hospital.



FIGURA 3-9: ANTENAS Y SPLITTERS AL INTERIOR DEL HOSPITAL.

La totalidad de los elementos instalados se mostrará en el Anexo de Instalación, en donde se podrá observar con mayor detalle las instalaciones realizadas en el hospital.

3.5 Análisis Económico de la Solución

A continuación se realizará un análisis económico de la red instalada en donde se analizará la rentabilidad de este proyecto. En primer lugar se tomó en cuenta la inversión realizada en donde se consideró el precio de los equipos instalados, los materiales de construcción y los servicios de instalación. Para el caso de precio de los equipos se tomó de datos el valor de mercado de los elementos principales de la red. Luego se da un estimado del precio necesario en equipamiento y elementos como conectores y ductos. Por último se estima el precio de los servicios de instalación así como el del estudio de ingeniería. Los valores de los puntos antes mencionados se pueden observar en la Tabla 3-4.

TABLA 3-4: TABLA DE INVERSIÓN DE INSTALACIÓN.

Tipo de Cambio	S/. 2.70	
Equipamiento	\$91.210.00	S/. 246.267.00
Antena (x16)	\$1.210.00	S/. 3.267.00
BBU	\$20.000.00	S/. 54.000.00
RRU	\$30.000.00	S/. 81.000.00
2G BTS	\$40.000.00	S/. 108.000.00
Materiales de Instalación	\$7.200.00	S/. 19.440.00
Materiales	\$7.200.00	S/. 19.440.00
Servicios de Instalación	\$23.200.00	S/. 62.640.00
Servicios de Instalación	\$8.200.00	S/. 22.140.00
Estudio de Ingeniería	\$15.000.00	S/. 40.500.00

Conocido el valor de la inversión de instalación es necesario analizar lo que el operador obtiene como ganancia anual con esta red. Para conseguir esto primero se debe considerar cuanta ganancia neta obtiene el operador por cada minuto de llamada concretada. Por consiguiente, considerando las tarifas de mercado por minuto de una llamada y los márgenes de ganancia de mercado se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 3-5: TABLA DE MÁRGENES DE GANANCIA.

Margen asumido	65%	
	Soles	
	Precio	Margen
Precio por minuto Prepago	S/. 0.95	S/. 0.37
Precio por minuto Postpago	S/. 0.55	S/. 0.22
	Soles	
	Precio	Margen
Precio por Erlang Prepago	S/. 57.00	S/. 22.45
Precio por Erlang Postpago	S/. 33.00	S/. 13.00
Trafico diario x usuario	25	mE

En la Tabla 3-5 vemos que el margen de ganancia estimado es de 65% con lo que nos deja una ganancia neta de S/. 0.37 por minuto para líneas prepago y de S/. 0.22 por minuto para líneas postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Erlang cursado ya que este valor toma la medida de la llamada por llamada y ya no por minuto. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario es de 25 mErl.

Ahora con los valores ya obtenidos se puede calcular la ganancia anual de la red desplegada. Primero se consideró el dato mencionado al inicio del capítulo anterior en donde se estima que en promedio en el hospital entre pacientes y trabajadores circulan diariamente un promedio de 1500 personas. Sabiendo esto se puede hacer un estimado de las ganancias que estos potenciales usuarios de la red móvil pueden generar.

TABLA 3-6: TABLA DE GANANCIA ANUAL.

Cantidad de Usuarios en Hospital	1500	
Tráfico promedio por día en el Hospital	37500	mE
	37.5	E
% de Usuarios Prepago	86.04%	
% de Usuarios Postpago	13.96%	
Margen de Ganancia diario en el Hospital	S/. 792.55	
Margen de Ganancia anual en el Hospital	S/. 289.281.08	
	\$ 107.141.14	

En la Tabla 3-6 se puede observar el cálculo de la ganancia anual que la red RF Indoor en hospital genera. Para alcanzar el valor final de \$ 107,141.14 se calculó el tráfico que en promedio se cursa en el hospital considerando la cantidad de personas circulan el lugar y el promedio diario de tráfico que un individuo genera. Teniendo el tráfico diario que cursa el hospital diariamente se cuantificó este tráfico en dinero utilizando el dato de costo por Erlang, tanto para prepago como postpago. La proporción de líneas prepago y postpago existente se obtuvo de un estudio del MTC al 2011 publicado en su página oficial. Teniendo el tráfico cursado y cuanto se gana por Erlang se calculó la ganancia diaria de la red del hospital, conociendo la ganancia

diaria se calculó la ganancia anual considerando que como se trata de un hospital siempre hay atención sin importar la fecha.

Por último teniendo la inversión necesaria y la ganancia anual se puede elaborar un flujo para determinar la rentabilidad de la red.

TABLA 3-7: FLUJO DE CAJA.

Egreso mensual	-2500	Alquiler de Local	1500	USD
Tasa asumida	17%	Energía	1000	USD

Año	Ingreso	Egreso	Total
0	-\$ 121.610.00	0	-\$ 121.610.00
1	\$ 107.141.14	(30.000.00)	\$ 77.141.14
2	\$ 107.141.14	(30.000.00)	\$ 77.141.14
3	\$ 107.141.14	(30.000.00)	\$ 77.141.14

TIR	40.62%
VAN	\$41.743.51

En la Tabla 3-7 se ve el flujo de caja con los datos hallados en líneas anteriores pero incluyendo los egresos anuales aproximados que se deben al costo de la energía de operación de los equipos y al alquiler que el hospital cobra por utilizar parte de sus instalaciones para la instalación de equipos. Con todo esto los resultados, para una proyección de cuatro años y una tasa de mercado asumida de 17%, son muy buenos ya que nos da un VAN muy positivo en donde se recupera la inversión al segundo año de operación y un TIR que indica estar encima del doble de lo que la tasa de mercado ofrece. Esto hace ver una red que es altamente rentable y que tendría valores de VAN más altos si se analizara un periodo de años de operación más extenso.

Con esto se concluye que el proyecto es rentable y muy atractivo desde el punto de vista económico.

Conociendo que esta es una red rentable se pasará a analizar el desempeño de la red funcional para determinar si cumple con las expectativas y objetivos planteados en la presente tesis.

Capítulo 4

Pruebas de Desempeño

En el presente capítulo, se pasará a describir los resultados obtenidos al interior del Hospital de Emergencias Pediátricas luego de llevar a cabo la puesta del proyecto de solución propuesta.

4.1 Objetivo y Valor de las Pruebas Finales

El objetivo principal de la presentación de las pruebas finales es el de conocer la situación de la cobertura celular al interior del Hospital de Emergencias Pediátricas y poder comparar esta nueva realidad con la situación que se tenía antes de la instalación de la red RF Indoor.

Esta comparación tiene un valor especial puesto que será la manera en la que se podrá evaluar efectivamente el diseño presentado en el capítulo anterior e indicará si se logró cumplir con los objetivos propuestos en el capítulo 2. También será de gran importancia esta comparación puesto que el éxito o el fracaso de los diseños iniciales serán la base para poder extraer conclusiones relevantes acerca del trabajo realizado, aprender de los errores o aciertos realizados y finalmente dar recomendaciones relevantes para trabajos futuros similares a este.

4.2 Metodología de Pruebas.

4.2.1 Herramientas de Medición

Las herramientas utilizadas en esta etapa son las mismas que las que se utilizaron para la medición del estado de la señal al interior del hospital y que se detallaron en el capítulo 2 de la presente tesis, con la inclusión de algunos elementos nuevos. En esta ocasión aparte de la utilización de las herramientas Nemo Handy y Nemo Outdoor se utilizó un GPS Hollux que se sincronizó con el Nemo Handy para las mediciones outdoor que se detallarán en la siguiente sección. A su vez, al tenerse mayor cantidad de información que procesar y tablas que generar, se complementó al uso de la herramienta Nemo Outdoor el uso del software MapInfo en su versión 8.5 con lo cual se generaron algunas de las tablas que se presentarán y se realizaron los reportes de cobertura. La metodología utilizada para la medición de la situación final de la señal al interior del hospital se detalla a continuación.

4.2.2 Metodología

La metodología utilizada para la realización de las pruebas finales fue similar al realizado anteriormente pero con algunas añadiduras.

Primero se tomaron las mediciones caminando por los lugares públicos colocando los puntos de nuestro recorrido en el Nemo Handy, como ya se explicó en el capítulo 2, tanto para 2G como 3G teniendo el teléfono realizando llamadas sucesivas cada 30 segundos con intervalos de espera de 5 segundos. Esta medición se denomina Walking Test (WT). Con esta medición es que se obtiene los parámetros RSCP, Ec/No, Primary Scrambling Code y TxPower para 3G y RxLev, C/I y Best Server para 2G.

Por otro lado se hicieron pruebas estáticas en cada piso donde se midió la velocidad de descarga tanto de subida como de bajada de la red desplegada en cada piso. Estas pruebas se realizaron al correr un script al interior del Nemo Handy el cual se conecta a un servidor FTP y descarga un archivo de 10 MB en el caso de 3G y otro archivo de 3 MB para el caso de 2G, por su parte, de subida se tiene que se sube al servidor un archivo de 3 MB en 3G y uno de 1 MB en 2G. Esta medición se denomina Static Test (ST). Este procedimiento se realizó para determinar los valores de throughput tanto en 2G como en 3G y también los valores de CQI para 3G y de BLER para 2G.

Por último se realizó una medición alrededor del hospital utilizando para esto un GPS que se enganchó al Nemo Handy. La prueba consistió en realizar un recorrido por las calles aledañas con el celular en modo idle con la finalidad de medir los niveles de recepción por servidor tanto en 2G como en 3G con la finalidad de demostrar que la

cobertura brindada por la red dentro del hospital no cause interferencia con los móviles del exterior. Esta medición es denominada Drive Test (DT).

Una vez realizada las pruebas de cobertura se debe analizar los datos recolectados y compararlos con los objetivos propuestos. Este proceso se detalla a continuación.

4.3 Resultados de la Medición

Con los datos obtenidos de las mediciones se procede a presentar los resultados comparándolos con los resultados esperados y definidos ya que de ahora en adelante se le llamarán KPI, el cual es el acrónimo de Key Performance Indicator. Estos indicadores serán los que evaluarán la red desplegada y nos dirán si esta cumple o no las expectativas. A continuación se explicarán brevemente cada uno de estos KPIs.

4.3.1 KPIs considerados

Los KPIs considerados se muestran en la Tabla 4-1.

TABLA 4-1: KPIs CONSIDERADOS.

Tecnología	KPI	Método	Valor objetivo	
			Umbral	Muestras
KPIs 3G	RSCP Indoor	WT	≥ -75 dBm	$\geq 95\%$
	RSCP Outdoor	DT	≥ -85 dBm	$\leq 1\%$
	Δ RSCP	WT	≥ 10 dB	$\geq 95\%$
	Ec/No	WT	≥ -6 dBm	$\geq 95\%$
	Best Server	WT	-	$\geq 97\%$
	CQI	WT	≥ 25	$\geq 95\%$
	UE TX Power	WT	≤ -20 dBm	$\geq 90\%$
	HSDPA Throughput	ST	≥ 1.5 Mbps	$\geq 90\%$
	HSUPA Throughput	ST	≥ 300 kbps	$\geq 90\%$
KPIs 2G	Rx Level Indoor	WT	≥ -75 dBm	$\geq 95\%$
	Rx Level Outdoor	DT	≥ -85 dBm	$\leq 1\%$
	Δ Rx Level	WT	≥ 10 dB	$\geq 95\%$
	C/I	WT	≥ 15 dBm	$\geq 95\%$
	Best Server	WT	-	$\geq 97\%$
	BLER DL	ST	≤ 5	$\geq 95\%$
	EDGE DL Throughput	ST	≥ 150 Kbps	$\geq 90\%$
	EDGE UL Throughput	ST	≥ 30 kbps	$\geq 90\%$

Estos parámetros fueron ya explicados brevemente en el capítulo 1, por lo que se comentará brevemente la razones de los valores registrados.

Cuando se diseña una red RF Indoor se debe tener en cuenta de que se implementa un nodo completo para un espacio determinado que en el caso del Hospital de Emergencias Pediátricas no es considerablemente grande por lo tanto, teniendo en cuenta la gran capacidad que un nodo proporciona, exige a la red a tener un muy buen desempeño. Es por esto que los KPIs determinados son tan rigurosos. Aunque existen ciertas similitudes entre los parámetros que se utilizan en 2G y 3G, estos son distintos por lo tanto las consideraciones son distintas para ambas tecnologías.

Los parámetros de cobertura (RSCP y RxLev) deben tener valores que aseguren que el nivel de señal sea bueno y que las llamadas siempre puedan realizarse (-75 dBm) en un 95% de las muestras medidas. Se tiene también dos parámetros llamados Δ RSCP y Δ Rx Level el cual miden la intensidad del RSCP y RxLevel que es dado por la red indoor desplegada y la comparan con la intensidad de estos mismos parámetros pero que dan los servidores externos, lo que se busca es que la diferencia de esta comparación sea mayor o igual a 10 dB con lo cual se aseguraría que la señal del exterior no interfiera con la señal indoor. En el caso de los parámetros de interferencia (EcNo y I/C) se exige que la interferencia tenga niveles tan bajos que no se tenga el más mínimo peligro de que se evite concretar una llamada ó que esta se corte una vez realizada y es por esto que los niveles que se exigen es tan bajo para el Ec/No y tan alto para el C/I. Un buen diseño del sistema de antenas, en teoría, debería mitigar el efecto de las señales provenientes del exterior y minimizar grandemente la interferencia existente. Por otro lado, existe un parámetro existente en 3G el cual no tiene un equivalente en 2G, el cual es el TxPower. Es importante que este parámetro sea bajo puesto que los equipos 3G normalmente tienen problemas de ahorro de batería, es por eso que asegurar potencias de transmisión bajas en los móviles es necesario si se quiere tener una red realmente optimizada. Es por esto que se busca que a lo mucho el valor del TxPower sea de -20dBm, valores superiores a este tendrán impacto negativas para la batería del móvil e indicarán problemas de cobertura. Para terminar con los parámetros de cobertura de voz lo denominado como Best Server tanto para 2G como para 3G determina a cual BTS ó Nodo B se engancha el móvil al momento de realizar una llamada. Lo que se busca al desarrollar una red RF Indoor es que en toda el área el móvil solamente se enganche al servidor que proporciona la red

y no a ningún servidor del servidor, esto se hace con la finalidad de garantizar dominancia en el lugar lo cual ayuda a mitigar la interferencia y asegura que no se realicen múltiples handovers que potencialmente pueden hacer que una llamada se caiga. Idealmente se quisiera que la dominancia se dé en un 100% de las muestras, sin embargo en lugares muy próximos a las puertas ó ventanas es difícil controlar ciertas filtraciones de señal por lo tanto se da un pequeño margen de error y se exige que esto se dé en un 97% de las muestras tomadas.

Los KPIs previamente mencionados analizaban la calidad de las comunicaciones de voz, ahora es tiempo de hablar de aquellos que analizan el intercambio de datos. Primero se tiene a la medida por excelencia cuando se mide un intercambio de datos el cual es la velocidad de descarga o throughput. En este aspecto se pide valores elevados para el caso de 3G debido a que como un nodoB está atendiendo solo al hospital no se tendrá riesgo de congestión normalmente lo cual permitirá que la transferencia de datos sea eficiente. En el caso de 2G se pide el 10% de lo pedido para 3G puesto que es conocida la limitación que tiene esta tecnología para transferir datos. En el caso de la calidad de la transferencia tanto para el caso del BLER, que debe ser bajo, y el CQI, que debe ser alto, se debe ser exigente con los valores pedidos puesto que un buen diseño debe asegurar que la red tenga la menor cantidad de paquetes erróneos.

4.3.2 Mediciones Tomadas

A continuación se muestra las mediciones obtenidas tras la puesta de la red. Se considerará colocar algunas de las mediciones realizadas en el piso 1 del edificio principal puesto que el colocar la totalidad de estas sería muy extenso, las mediciones completas se adjuntan en el Anexo de Mediciones Finales. Se mostrará los resultados de todos los parámetros medidos y que se analizarán en los puntos siguientes.

4.3.2.1 Mediciones 2G

Se presentan las mediciones realizadas en el piso mencionado para la tecnología 2G.

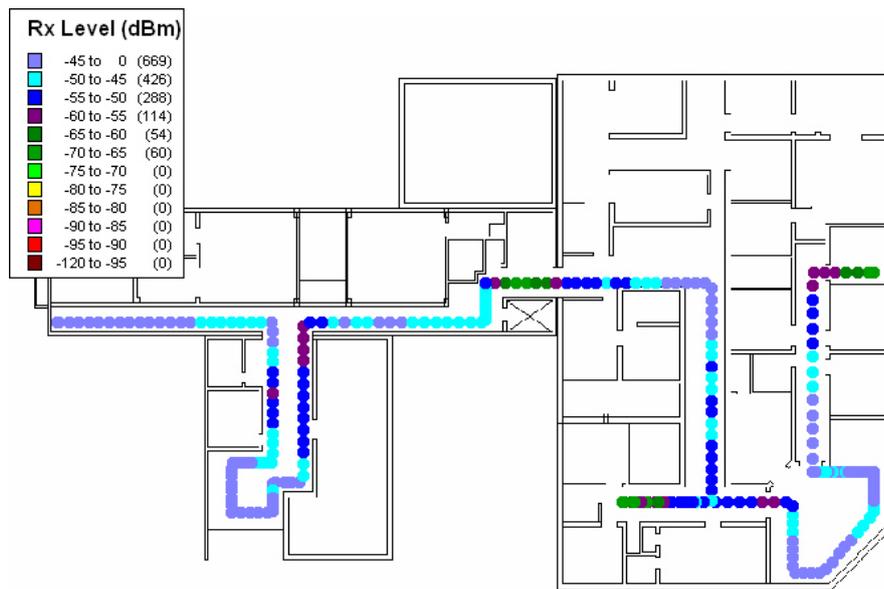


FIGURA 4-1: NIVEL FINAL DE RxLev.

Se puede apreciar de la Figura 4-1 que en este piso los niveles de RxLev estuvieron en todo momento por encima de -75 dBm. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 100%.

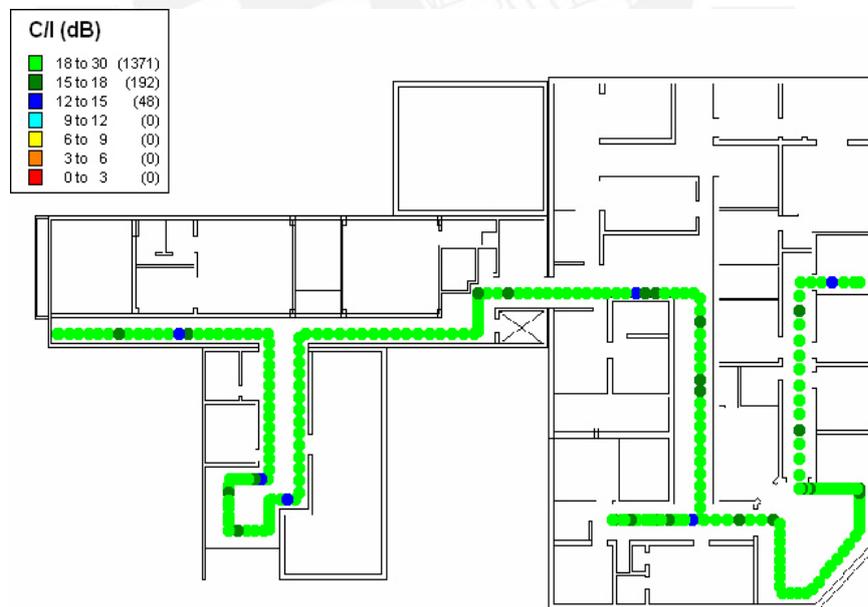


FIGURA 4-2: NIVEL FINAL DE C/I.

Se puede apreciar de la Figura 4-2 que en este piso los niveles de C/I estuvieron en por encima de 15 dB en 1563 de las muestras totales. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 97.03%.

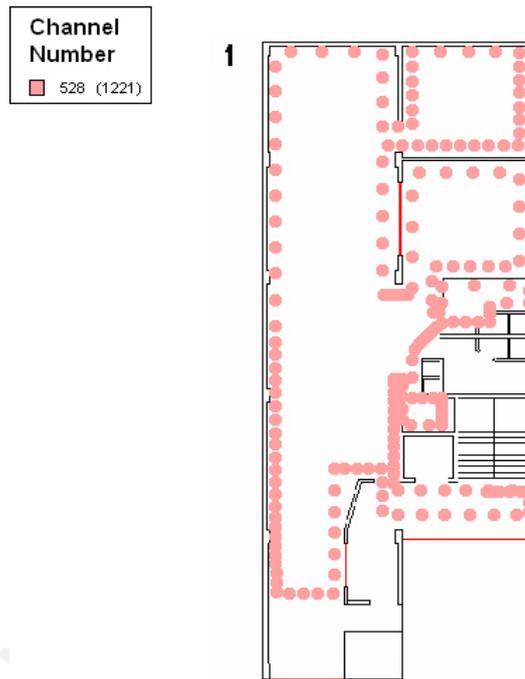


FIGURA 4-3: NIVEL FINAL DE BEST SERVER.

Se puede apreciar de la Figura 4-3 que en este piso el único canal dominante es el que corresponde a la red desplegada. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 100%.



FIGURA 4-4: NIVEL FINAL DE BLER.

Se puede apreciar de la Figura 4-4 que en este piso los niveles de BLER estuvieron por debajo de 5% en 130 de las muestras totales. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 97.74%.

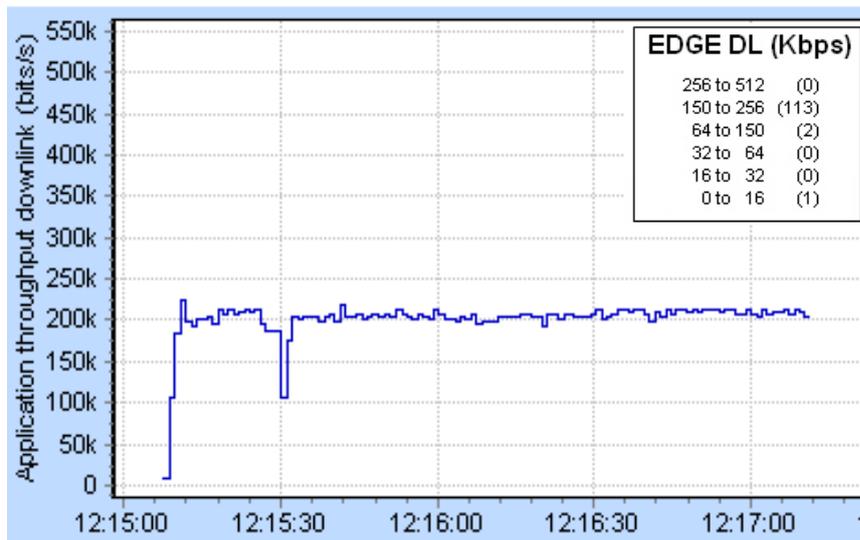


FIGURA 4-5: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT DL 2G.

Se puede apreciar de la Figura 4-5 que en este piso los niveles de *Throughput* DL estuvieron en por encima de 150 Kbps en 113 de las muestras totales. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 97.41%.

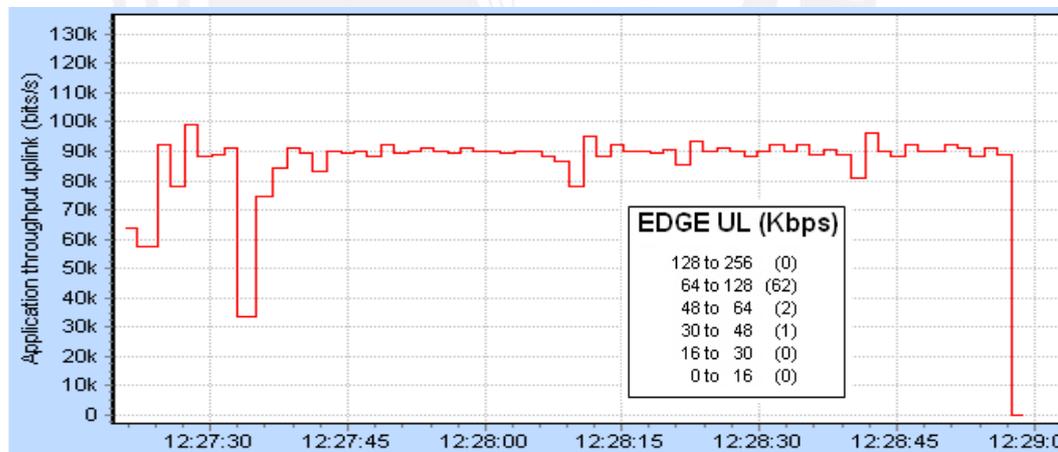


FIGURA 4-6: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT UL 2G.

Se puede apreciar de la Figura 4-6 que en este piso los niveles de *Throughput* UL estuvieron en por encima de 30 Kbps en la totalidad de las muestras tomadas. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 100%.

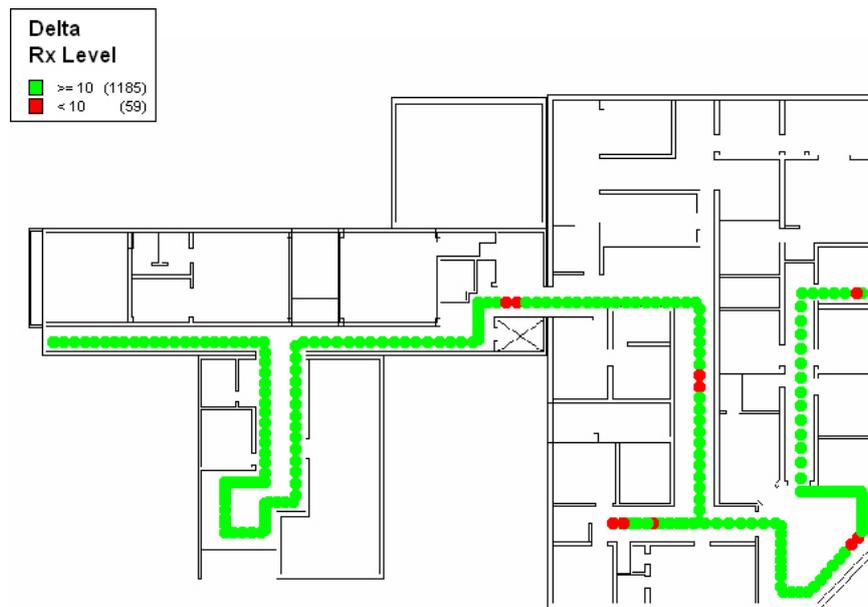


FIGURA 4-7: NIVEL FINAL DE DELTA RxLev.

Se puede apreciar de la Figura 4-7 que en este piso los niveles de Delta RxLev estuvieron en por encima de 10 dB en 1185 de las muestras totales. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 95.26%.

4.3.2.2 Mediciones 3G.



FIGURA 4-8: NIVEL FINAL DE RSCP.

Se puede apreciar de la Figura 4-8 que en este piso los niveles de RSCP estuvieron en todo momento por encima de -75 dBm. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 100%.

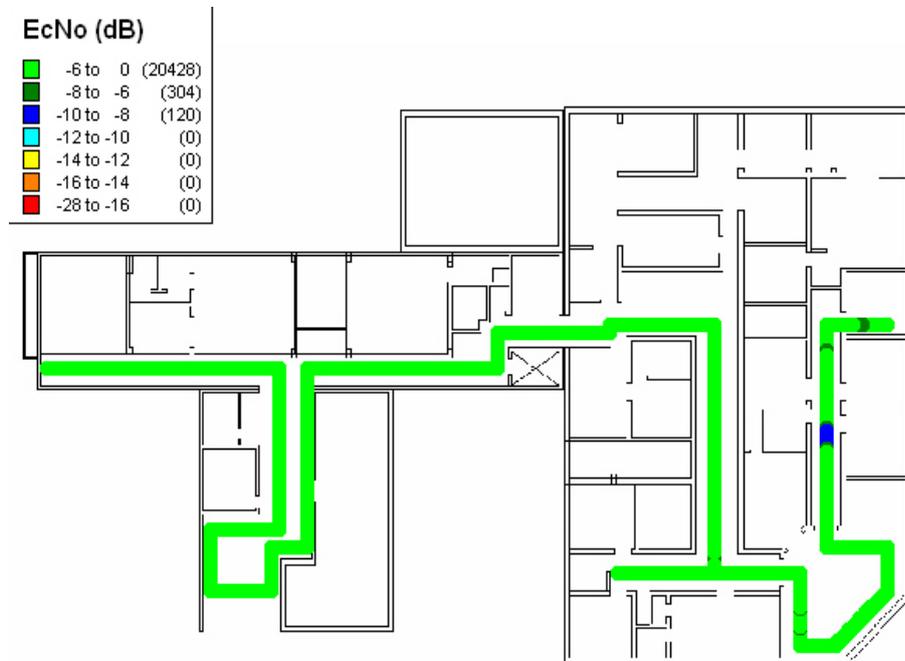


FIGURA 4-9: NIVEL FINAL DE Ec/No.

Se puede apreciar de la Figura 4-9 que en este piso los niveles de Ec/No estuvieron por encima de -6 dB en 20428 muestras. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 97.97%.

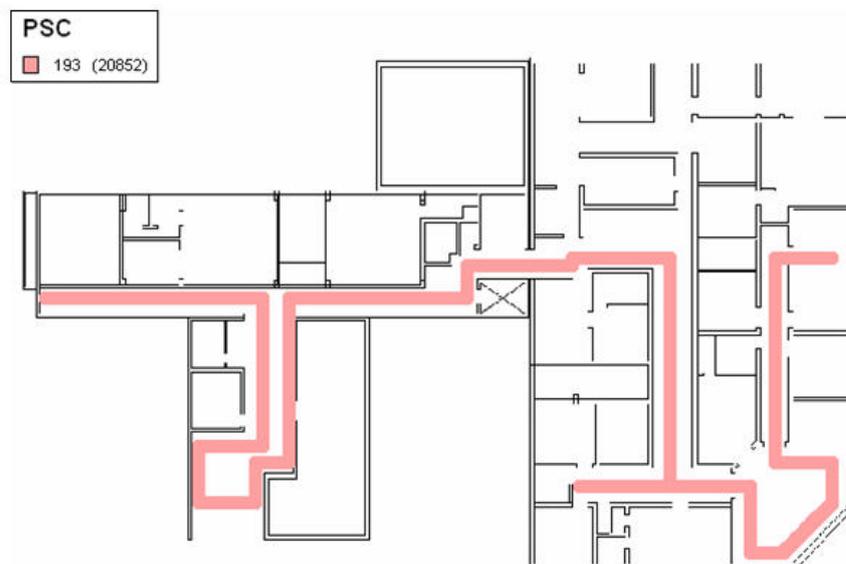


FIGURA 4-10: MEDIDA FINAL DE SCRAMBLING CODES.

Se puede apreciar de la Figura 4-10 que en este piso el único Scrambling Code dominante es el que corresponde a la red desplegada. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 100%.

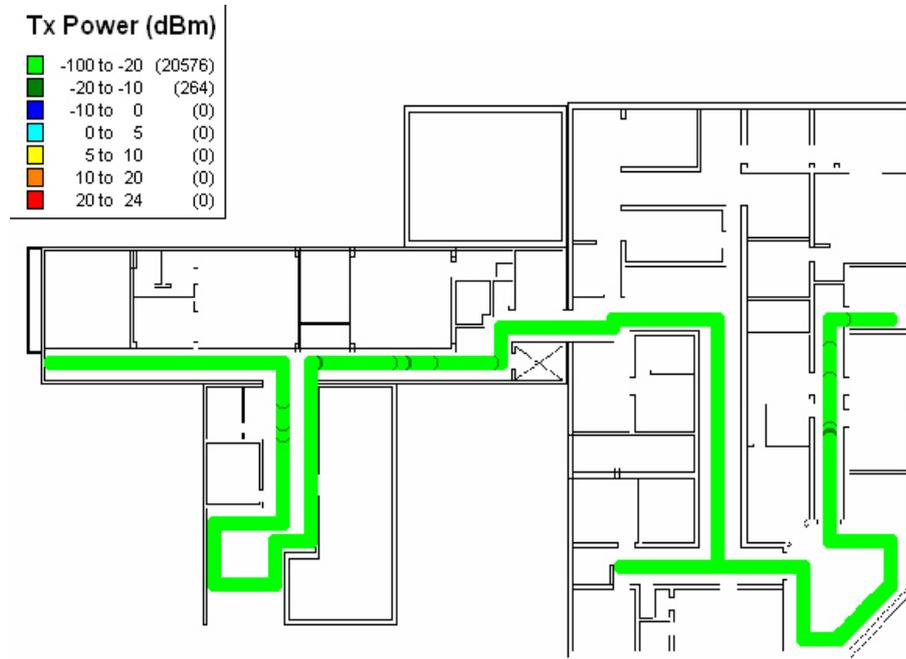


FIGURA 4-11: MEDIDA FINAL DE Tx POWER.

Se puede apreciar de la Figura 4-11 que en este piso los niveles de Tx Power estuvieron por debajo de -20 dB en 20576 muestras. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 98.73%.



FIGURA 4-12: MEDIDA FINAL DE CQI.

Se puede apreciar de la Figura 4-12 que en este piso los niveles de CQI estuvieron en todo momento por encima de 24. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 100%.



FIGURA 4-13: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT DL 3G.

Se puede apreciar de la Figura 4-5 que en este piso los niveles de *Throughput* DL estuvieron en por encima de 1500 Kbps en 22 de las muestras totales. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 95.65%.

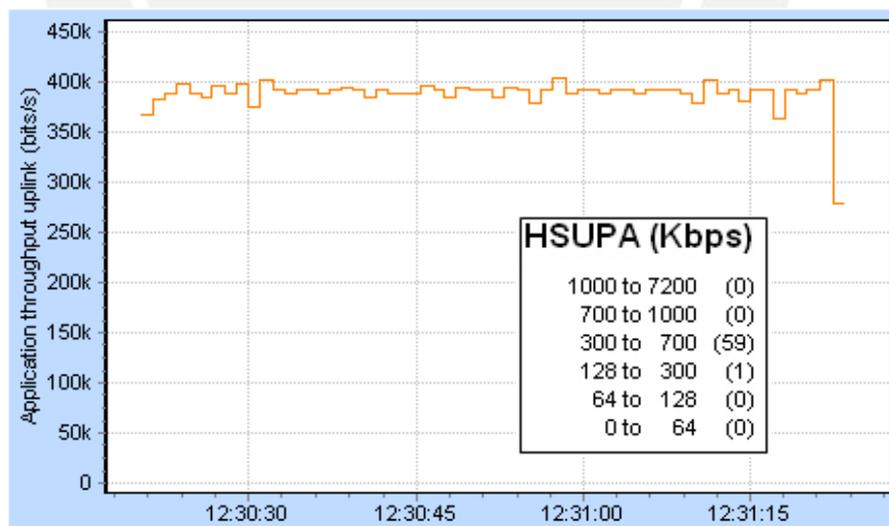


FIGURA 4-14: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT UL 3G.

Se puede apreciar de la Figura 4-5 que en este piso los niveles de *Throughput* UL estuvieron en por encima de 300 Kbps en 59 de las muestras totales. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 98.33%.

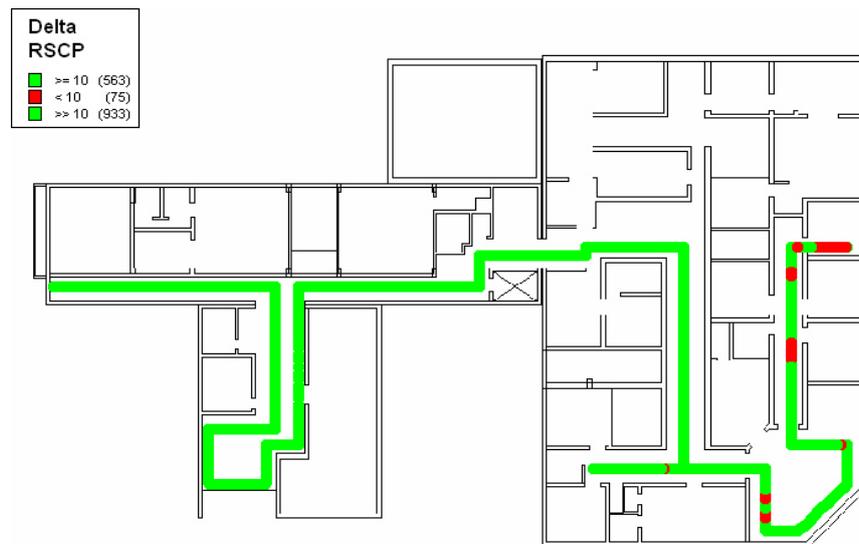


FIGURA 4-15: NIVEL FINAL DE DELTA RSCP.

Se puede apreciar de la Figura 4-15 que en este piso los niveles de Delta RxLev estuvieron en por encima de 10 dB en 1496 de las muestras totales. Por lo tanto en este piso el KPI se cumplió en un 95.23%.

Como se dijo anteriormente la totalidad de las mediciones tomadas se muestran en el Anexo de Mediciones Finales.

4.3.3 Resultados Obtenidos

Obtenidas las mediciones al interior del hospital se procesó la información por piso y se evaluó en función de las muestras obtenidas por cada parámetro en todo el edificio si los KPI's eran cumplidos o no. Se realizaron los cálculos haciendo uso de una hoja de cálculo colocando el número de muestras totales, según ciertos rangos, y se generaron histogramas dando el porcentaje de cumplimiento de cada parámetro. Este cálculo de presentará a detalle en el Anexo de Histogramas, sin embargo se presenta a continuación una tabla resumen indicando los resultados de cumplimiento de KPI's. Se precisa que estos resultados corresponden al edificio completo, se juntaron los resultados obtenidos en cada piso y se llegó a un resultado global, los resultados por piso se pueden apreciar en las gráficas de mediciones hechas que se vieron en el punto anterior.

TABLA 4-2: RESUMEN DE RESULTADOS.

Tecnología	KPI	Método	Valor objetivo		Resultado	Logra KPI
			Umbral	Muestras		
Optimization Target 3G	RSCP Indoor	WT	>= -75 dBm	>= 95%	99.96%	OK
	RSCP Outdoor	DT	>= -85 dBm	<= 1%	0.82%	OK
	Δ RSCP	WT	>= 10 dB	>= 95%	98.12%	OK
	Ec/No	WT	>= -6 dBm	>= 95%	99.21%	OK
	Best Server	WT	-	>= 97%	100.00%	OK
	CQI	WT	>= 25	>= 95%	100.00%	OK
	UE TX Power	WT	<= -20 dBm	>= 90%	97.40%	OK
	HSDPA Throughput	ST	>= 1.5 Mbps	>= 90%	97.53%	OK
	HSUPA Throughput	ST	>= 300 kbps	>= 90%	99.15%	OK
Optimization Target 2G	Rx Level Indoor	WT	>= -75 dBm	>= 95%	99.74%	OK
	Rx Level Outdoor	DT	>= -85 dBm	<= 1%	0.74%	OK
	Δ Rx Level	WT	>= 10 dB	>= 95%	95.01%	OK
	C/I	WT	>= 15 dBm	>= 95%	97.74%	OK
	Best Server	WT	-	>= 97%	100.00%	OK
	BLER DL	ST	<= 5%	>= 95%	95.96%	OK
	EDGE DL Throughput	ST	>= 150 Kbps	>= 90%	97.48%	OK
	EDGE UL Throughput	ST	>= 30 kbps	>= 90%	100.00%	OK

Se puede observar en la Tabla 4-2 que los KPI's son cumplidos en su totalidad si se toman las muestras totales en el hospital. Con lo cual se puede decir que el resultado de la red desplegada es satisfactorio.

4.3.4 Afectación Cuantitativa de KPI's

Se vio que los resultados obtenidos tras la puesta de la solución fueron satisfactorios pero es preciso ver ahora que tanto mejoró la señal con respecto al estado inicial del hospital. Antes de la etapa de diseño de la red se tomaron medidas de cobertura, en estas solo se tomaron en cuenta cuatro parámetros que ya se han mencionado anteriormente. Por este motivo solamente es posible realizar comparaciones cuantitativas de la cobertura dentro del hospital antes y después de la instalación de las antenas en estos cuatro parámetros. La metodología para hallar los valores porcentuales de cumplimiento de KPI's fue el mismo que el usado en el punto anterior.

TABLA 4-3: COMPARACION CUANTITATIVA KPI's.

Tecnología	KPI	Método	Valor objetivo		ANTES	DESPUES
			Umbral	Muestras	Resultado	Resultado
			Optimization Target 3G	RSCP Indoor	WT	>= -75 dBm
	Ec/No	WT	>= -6 dBm	>= 95%	30%	99.21%
	Best Server	WT	-	>= 97%	0%	100.00%
Optimization Target 2G	Rx Level Indoor	WT	>= -75 dBm	>= 95%	38%	99.74%

En la Tabla 4-3 se puede apreciar como fue la evolución de estos parámetros. Como ya se había comentado en el capítulo 2, los niveles de cobertura al interior del hospital eran muy bajos y se ve en la comparación la gran mejora que se ha obtenido. En un inicio se tenía que en ningún parámetro medido se podía superar el 40% de muestras óptimas, lo cual indica una pésima calidad en el servicio de telefonía móvil. Por otro lado se puede ver que posterior a la puesta de la red se tiene que los parámetros medidos inicialmente presentan valores óptimos en más del 99% de las muestras totales lo que hace notar que el servicio pasó de ser pobre a ser excelente.

4.4 Comparación Cualitativa.

Habiendo presentado los resultados finales de la red desplegada es preciso realizar un análisis cualitativo de estos. Se han presentado ya los valores obtenidos de las mediciones y se ha comprobado que se cumplieron en su totalidad los valores propuestos, sin embargo es momento analizar cuál es la implicancia de estos resultados viéndolos desde el punto de vista de la situación inicial que se tenía en el hospital y del escenario planificado en los diseños.

4.4.1 Situación Inicial.

La realidad de la cobertura celular en el recinto previa la instalación de la solución se ha descrito anteriormente en esta tesis e incluso se realizó una comparación entre los niveles medidos antes y después de la instalación de la red. En esta comparación se observó una gran mejora en todo sentido de la cobertura al interior del hospital la cual asegura que las comunicaciones se concreten y en condiciones óptimas. Inicialmente los niveles de señal eran muy bajos e incluso inexistentes en algunos lugares, como el sótano del edificio administrativo. Esta situación era riesgosa puesto que el lugar del

que se habla es un hospital en donde se trata a una gran cantidad de niños de varias edades las 24 horas del día. El no contar con un servicio óptimo de telefonía móvil puede entorpecer el rápido accionar en momentos de emergencia por fallas en la comunicaciones entre el personal del hospital, poniendo en riesgo la vida de un ser humano. Por lo tanto fuera de las ventajas tecnológicas y económicas que esta mejora da, vistas previamente en la presente tesis, vemos el lado humanitario que tiene esta mejora ya que reduce complicaciones a la labor de los doctores dándoles un servicio de comunicación continuo y óptimo. A su vez, se sabe que las mejoras tecnológicas en los últimos años han sido vertiginosas por lo tanto no sorprendería que en poco tiempo se utilicen aún más equipos médicos conectados a internet en tiempo real y que los médicos utilicen aplicativos móviles en dispositivos como *tablets* de forma más usual, la red mejorada no solo garantiza la realización de llamadas de voz sino también de transferencia de datos lo cual permitiría conectar equipos compatibles con la red celular para salida a internet, además que el sistema pasivo de antenas puede soportar escalamientos de tecnologías futuras, como el LTE, adicionando ó haciendo *upgrades* a los equipos principales de la red.

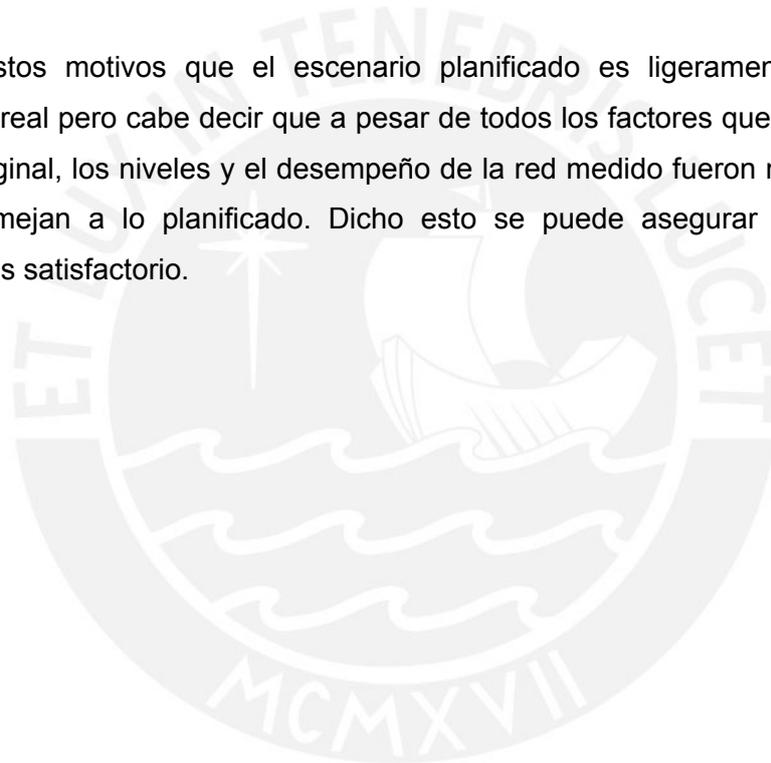
Por lo antes mencionado vemos que esta mejora no solo es una mejora de la red de un operador para generar mayor utilidad sino que tiene repercusiones significativas en las labores presentes y futuras a realizarse en el hospital, y que puede incluso ayudar al rápido actuar para salvar una vida.

4.4.2 Escenario Planificado.

Al realizar los diseños iniciales de la puesta de la red se tenía un escenario ideal esperado al implementar la solución. En estos diseños los niveles de cobertura se aprecian que son mayores a los valores medidos realmente, sin ser estos últimos también óptimos. Es preciso recalcar ciertas cosas del por qué los valores diseñados no son precisamente iguales a los valores reales obtenidos. Primero, al utilizar un *software* para realizar las predicciones de cobertura, por más preciso y profesional que sea este, siempre estará basado en un modelo de predicción el cual utiliza aproximaciones para modelar el diseño según variables propias de cada región pero, que como toda aproximación, nunca será del todo exacta. También en los diseños realizados se considera al hospital como un edificio aislado en el cual no se toma en cuenta la cobertura celular de las antenas *outdoor*, las cuales generan interferencia con las señales *indoor* afectando parámetros como el E_c/No ó C/I . Por otro lado se tiene también que considerar las características de la red que el operador da, si bien

es cierto que en los diseños podemos tener parámetros de canalización de aire perfectos se debe tener en cuenta que la red del operador no está diseñada para atender a todos los usuarios al mismo tiempo y de la misma forma por lo tanto cuando la cantidad de usuarios aumenta se genera congestión en la red lo cual disminuye el desempeño del servicio dado a pesar que los parámetros de cobertura estén en perfectas condiciones. Esto es algo que escapa a cualquier buen diseño de cobertura ya que los problemas de dimensionamiento y congestión que el operador pueda presentar, que generarán problemas en la realización de llamadas y transferencia de datos, no se pueden controlar desde el punto de vista del trabajo realizado en esta tesis.

Es por estos motivos que el escenario planificado es ligeramente mejor que el escenario real pero cabe decir que a pesar de todos los factores que pueden alterar el diseño original, los niveles y el desempeño de la red medido fueron muy satisfactorios y se asemejan a lo planificado. Dicho esto se puede asegurar que el resultado obtenido es satisfactorio.



Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros

5.1 Recomendaciones

Se sugieren, a continuación, algunas recomendaciones a tener en cuenta sobre el presente proyecto:

- Se recomienda en cuestión de diseños de redes similares considerar colocar antenas paneles en lugar de antenas omnidireccionales en los extremos de la edificación debido a su naturaleza direccional que permite que la potencia irradiada apunte al interior del lugar a dar cobertura y no escape a las afueras lo cual podría generar problemas de interferencia con la cobertura *outdoor*.
- Al momento de terminar los diseños y generar los *link budgets*, es recomendable considerar un margen de 2dB de pérdida adicional a todo el sistema debido a cuestiones propias de instalación como obstáculos en el recorrido del cableado, lugares en los que no se pueda pasar cable fácilmente lo cual genere más tramos de cable ó pérdidas adicionales en los conectores.
- En este proyecto se usó en su mayoría cable coaxial de ½ pulgada rígido, pero en edificaciones de mayores dimensiones también se puede usar cable coaxial

de 7/8 pulgadas, estos cables generan problemas al querer maniobrarlos por su gran rigidez pero presentan menor pérdida de potencia.

- Al realizar las mediciones de cobertura se recomienda que la medición se inicie en un lugar que se sepa que hay buena cobertura para evitar problemas con el Nemo *Handy* y realizarlos en momentos de poca congestión para poder conseguir valores reales del desempeño de la red implementada, en especial en lo referente a la transferencia de datos que cuando existe congestión los niveles de *throughput* decrecen considerablemente.
- En este trabajo se utilizaron herramientas de medición de la marca Anite, sin embargo es posible utilizar herramientas de medición y post procesamiento alternativo. Se recomienda el uso de la herramienta MapInfo para el análisis de muestras de las pruebas realizadas debido a su versatilidad de crear entornos que se adecúan al tipo de análisis que se quiera realizar.
- En la red desplegada se consideró usar un solo sector definido por una única RRU para todo el edificio, sin embargo, en edificaciones más grandes será preciso utilizar mayor cantidades de sectores. En estos casos se deberá tener especial cuidado con las áreas donde existan cambios de sector puesto que es en estas áreas donde es probable tener problemas de interferencia entre los sectores y, por ende, valores de Ec/No y C/I no favorables. En lugares que tienen muchos pisos se recomienda no tener dos sectores en un mismo piso sino que las antenas que irradian en un mismo piso pertenezcan al mismo sector.

5.2 Trabajos Futuros

Se proponen a continuación diversos trabajos derivados del presente proyecto:

- Trabajos similares se pueden implementar en otros hospitales e incluso a otros locales públicos en donde una buena cobertura de señal celular sea requerida como, por ejemplo, hoteles, oficinas del Estado, centros comerciales, aeropuertos etc.
- En caso de necesitar dar cobertura a un entorno mucho más pequeño, como puede ser una única oficina ó un domicilio, desplegar una red RF Indoor sería excesivo, por lo tanto en esos casos se usarían redes a base de femtoceldas para dar solución a ese tipo de entornos. También, según las complicaciones que algún lugar puede presentar, se podría desarrollar entornos en los que se

integren redes RF Indoor con femtoceldas en caso de tener problemas para hacer llegar cable coaxial a ciertas zonas ó tener problemas de cobertura una vez ya instalada toda la red.

- La red desplegada considera dar cobertura en las tecnologías GSM y WCMA, sin embargo el sistema distribuido de antenas, por el gran rango de frecuencias al que pueden operar sus antenas, podría dar soporte a tecnologías futuras, como el LTE, simplemente adicionando los equipos principales de esta tecnología y conectarlos al sistema de antenas.

5.3 Conclusiones

Finalizado el presente proyecto, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Se midió la cobertura al interior del Hospital de Emergencias Pediátricas y se realizó el post procesamiento de estos datos, tanto para 2G y 3G, los cuales dejaron en evidencia los niveles bajos de potencia (por debajo a -75 dBm.) existentes. Se concluyó, basándose en el estudio realizado en el capítulo 2, que la mejor alternativa de solución es el despliegue de una red RF Indoor dadas las dimensiones del hospital y demanda de tráfico del mismo.
- Se realizó el diseño de la solución, tanto para 2G y 3G, tomando en cuenta las visitas técnicas hechas al hospital y teniendo como objetivo garantizar niveles óptimos de cobertura dando prioridad a las zonas comunes y pasillos del hospital. Este diseño se comprobó en la implementación de la red al interior del hospital. Tras ésta, se realizaron mediciones comprobándose que los objetivos propuestos, como el alcanzar una potencia de recepción mayor a -75dBm. en un 95% del área a cubrir, se cumplieron a cabalidad.
- Se realizó el estudio económico de la solución tomando en cuenta los índices de tráfico promedio, las tarifas actuales del mercado y la concurrencia diaria de personas en el hospital. Tras el estudio se concluyó que la solución es económicamente viable y que recupera totalmente la inversión realizada al segundo año de operación con una tasa interna de retorno de 17% significando un negocio llamativo para las áreas financieras y comerciales.

- Se concluye finalmente, tras el estudio tecnológico y económico realizado en la presente tesis, que la implementación de una red RF Indoor es una solución viable en el despliegue de optimizaciones de cobertura celular *indoor* debido a la alta rentabilidad que proporciona que se discutió en el capítulo 3 y los altos índices de potencia de recepción y baja tasa de interferencia que presenta, lo cual es desarrollado ampliamente en el capítulo 4.



Bibliografía

- [BOC2011] Bocuzzi Joseph & Ruggiero Michael, “Femtocells: Design & Applications”
The MacGraw-Hill Companies, 2001
- [GAR2001] García Andrés, “Telefonía Móvil”
URL:”http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Comunicacion/Telefonia_movil/index.htm”
García-Sáez, 2001
- [HAR2006] Harri Holma & Antti Toskala, “HSDPA/HSUPA for UMTS”
Jhon Wiley & Son, 2006
- [HEI1998] Heine Gunnar, “GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation”
Artech House, 1998
- [HEP2011] Sitio Oficial de Hospital de Emergencia Pediátricas
URL:” <http://www.hep.gob.pe>”
Consultada el 4 de abril de 2012
Secciones: Nuestros Servicios, Nuestra Historia, Indicadores
- [KAR2004] Kaaranen Heikki, “UMTS networks”
Jhon Wiley & Son, 2004
- [KOR2003] Korhonen Juha, “Introduction to 3G Mobile Communications”
Artech House, 2003
- [LOF2011] Lofberg Ulf, “In-Building Mobile Coverage Systems and Deployment”
Commscope, Febrero de 2011

- [NOK2000] Nokia Siemens Networks, “Extended Planning Introduction”
Nokia Networks Oy, 2000
- [NOK2002] Nokia Training Center, “GSM Air Interfase & Network Planning”
Nokia Networks Oy, Enero de 2002
- [NOK2003] Nokia Siemens Networks, “Optimization:Parameter Planning and
Network Optimization”
Nokia Networks Oy, 2003
- [QUA2009] Qualcomm Incorporated, “HSPA+ for Enhanced Mobile
Broadband”
URL:”<http://www.qualcomm.com/media/documents/files/hspa-enhanced-mobile-broadband-whitepaper.pdf>”
Qualcomm Incorporated, Febrero de 2009
- [QUA2006] Qualcomm Incorporated, “WCDMS (UMTS) Deployment
Handbook: Planning and Optimization Aspects”
Jhon Wiley & Son, 2006
- [SIK2004] Sikka Rupy, “W-CMA Air Interfase Fundamentals”
URL:” <http://www.authorstream.com/Presentation/3627946-387767-wcdma-air-interface-fundamentals-science-technology-ppt-powerpoint/>”
Lucent Technologies, 2004

- [TOL2008] Tolstrup Morten, “Indoor Radio Planning: A Practical Guide for Gsm, Dcs, Umts and Hspa”
Jhon Wiley & Son, Noviembre de 2008
- [WIL2003] Willig Andreas, “The GSM Air Interfase: Fundamentals and Protocols”
URL:”http://www.dcl.hpi.uni-potsdam.de/teaching/mobilitySem03/slides/hpi_gsm_air_interface.pdf”
University of Postdam, Mayo de 2003
- [VEL2010] Velarde Edgar, “Arquitectura GSM”
PUCP, 2010

