

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Incremento de Capacidad y Cobertura en Redes Móviles

Heterogéneas mediante el Sistema de Antenas

Distribuidas

Autor: Dedaldina Raimundo Manuel

Tutor: MSc. Frank Zurbano Quintana

Santa Clara

2017

Año del 59 aniversario del triunfo de la Revolución

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Incremento de Capacidad y Cobertura en Redes Móviles

Heterogéneas mediante el Sistema de Antenas

Distribuidas

Autor: Dedaldina Raimundo Manuel

Email: dmanuel@uclv.cu

Tutor: MSc. Frank Zurbano Quintana

E-mail: frank.zurbano@cubacel.cu

Santa Clara

2017

Año del 59 aniversario del triunfo de la Revolución



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“Vini, Vidi, Vici”-Julio César

Vine, Vi, Vencí.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis Padres **Lucas, María Isabel** por su amor, apoyo incondicional durante estos años, y durante mi entera vida, a mis hermanos, mis amigos que de una manera directa o no son parte de esto.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios Jehová por permitirme llegar hasta aquí, dándome la gracia de la vida todos los días.

A mi tutor **Frank Zurbano** por su ayuda al hacer este trabajo, y también por comprensión, disponibilidad y amabilidad.

Al entero colectivo de profesores de la facultad de eléctrica, en especial al departamento de Telecomunicaciones.

A los miles de amigos verdaderos y hermanos que encontré aquí en este País, que fueron como familia para mí, ayudándome en todo lo que pudieron, brindándome su honestidad, y amistad sincera, las palabras se quedan cortas a la grandeza de sus corazones.

Por último, pero no menos agradecida estoy, a la Revolución Cubana, la transcendencia de este hecho es grande demás para describirse por palabras, gracias por brindarme esta oportunidad única.

TAREA TÉCNICA

- El estudio de la situación actual del tráfico móvil por el crecimiento exponencial que se viene registrando y las dificultades que lo mismo representa, establecer una comparación precisa sobre las soluciones y formalizar un criterio de decisión sobre estas posibles soluciones
- Describir las diferentes ventajas que presenta el Sistema de Antenas Distribuidas en comparación con los Sistemas Macro convencional, y como el mismo responde de manera más eficiente a los problemas de cobertura y capacidad.
- Analizar las principales arquitecturas de, los Sistemas de Antenas Distribuidas, los puntos fuertes y débiles que presentan cada una de ellas, los desafíos para el despliegue de redes con este sistema, así como las posibles soluciones.
- Analizar los criterios de diseño para estos sistemas, los desafíos para su despliegue, establecer un curso de acción que permitirá implementar este diseño con el menor número de errores posibles.
- Realizar una búsqueda bibliográfica sobre las ventajas que presentan los sistemas de antenas distribuidas, como está el mercado actualmente y lo que se espera para el futuro, bien como las actualizaciones en el diseño que está constantemente sometida esta tecnología.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

La llegada de la telefonía celular ha revolucionado completamente el sector de las telecomunicaciones, ya que gracias a la *movilidad* se ha podido establecer la comunicación en cualquier momento y en cualquier lugar. En Cuba, el servicio de telefonía celular ha experimentado el vertiginoso desarrollo que existe desde hace ya algunas décadas en países desarrollados, Japón y España, y ha llegado a formar parte fundamental de nuestras actividades diarias, en particular el uso de la tecnología GSM, servicio que es ofrecido por la única operadora de telefonía celular del país ETECSA. Por otra parte, la calidad de la señal de los sistemas celulares es un tema fundamental cuando hablamos del servicio que una operadora ofrece la calidad puede verse afectada por diversos factores y es necesario implementar soluciones que permitan solventar los inconvenientes que afectan el desempeño de la red celular. En esto precisamente se enfoca el presente Trabajo, en realizarse una completa investigación sobre las posibles soluciones, y centrarse en la mejor solución efectiva al problema que representa garantizar la cobertura celular en la totalidad en áreas densamente pobladas, e interiores, que dependiendo de sus infraestructuras no puede ser cubierto con las radios bases más cercanas. El presente trabajo expone los criterios de diseño para un sistema distribuido de antenas, como una solución puntual para ofrecer cobertura continua, e incrementar la capacidad. Dichos criterios se pueden utilizar para el despliegue de esta solución y puede ser aprovechada por la operadora de telefonía celular que utiliza tecnología GSM en nuestro país. Al final se tienen conclusiones confiables y acordes a las consideraciones iniciales, presentando un desarrollo adecuado en cada capítulo para cumplir con el objetivo central del Trabajo. Como resultado se producirá un documento que pueda contribuir para el despliegue de sistemas distribuidos de antenas en el país.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TAREA TÉCNICA	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. Estado Actual de las redes móviles y Soluciones de cobertura y capacidad	4
1.1 Consideraciones del tráfico en la actualidad	4
1.1.1 Estrategias para el incremento de la capacidad	5
1.1.2 Redes Heterogeneas (HetNet) y pequeñas celdas	6
1.1.3 Entornos de Aplicación de las pequeñas celdas	6
1.1.4 Tipos de Pequeñas Celdas. Características	7
1.2 Desafíos y Dificultades de Despliegue	9
1.2.1 El backhaul.....	9
1.2.2 Restricciones del Espacio y el Sitio	9
1.2.3 La problemática de escalabilidad	10
1.2.4 El desafío del espectro	10
1.2.5 Costo y/o Tiempo.....	11
1.2.6 Cobertura de las Demandas futuras	11
1.3 El Sistema de Antenas Distribuidas, otra solución en redes Heterogénea	11
1.4 Comparación entre pequeñas celdas y DAS	14
1.5 Estado actual de la tecnología DAS y pronósticos.....	15
1.5.1 Regiones Geográficas del Mercado DAS	16

1.5.2	DAS y la Salud Publica.....	17
1.6	Conclusiones del capítulo.....	18
CAPÍTULO 2. Análisis de cobertura y capacidad para las tecnologías de Antenas Distribuidas en el enlace descendente.....		
		19
2.1	Sistemas Antenas Distribuidas	19
2.2	Tipos de Sistemas Antenas Distribuidas	20
2.2.1	DAS Pasivo	20
2.2.2	DAS Activo.....	21
2.2.3	DAS Híbrido	22
2.2.4	DAS Digital.....	22
2.2.5	Ventajas y Desventajas de las Arquitecturas del Sistema DAS	24
2.3	Fuentes de Señal para los Sistemas Antenas Distribuidas	25
2.3.1	Combinación de las fuentes de señal	25
2.4	Sistemas Antenas Distribuidas y MIMO.....	26
2.5	Arquitectura Multicelular	28
2.6	Estrategias de Transmisión.....	30
2.7	Modelación del Canal.....	30
2.8	Eficiencia de Potencia	32
2.9	Relación señal-interferencia más ruido (SINR)	33
2.10	Relación señal-interferencia más ruido (SINR).....	38
CAPÍTULO 3. Consideraciones Para el Diseño de los Sistemas de Antenas Distribuidas		
		39
3.1	Enfoques para el diseño.....	39
3.1.1	Enfoques para el diseño	40
3.2	Intermodulación Pasiva (PIM)	40

3.2.1	PIM.....	41
3.2.2	Soluciones para el PIM	42
3.3	Diseño del DAS Pasivo	44
3.4	Componentes Para el Sistema Pasivo.....	45
3.4.1	Cable Coaxial	45
3.4.2	Divisores (Splitters).....	46
3.4.3	Derivaciones (Taps)	47
3.4.4	Atenuadores.....	48
3.4.5	Terminaciones	49
3.4.6	Circuladores	49
3.4.7	Acopladores de 3dB	50
3.4.8	Filtros	51
3.4.9	Antenas para interiores	52
3.5	Planeamiento de la Red Pasiva.....	52
3.5.1	MIMO Para Sistemas Pasivos	54
3.6	Presupuesto del Enlace	55
3.7	Aplicaciones para el DAS Pasivo.....	56
3.8	DAS Activo.....	57
3.8.1	Funcionamiento Del DAS Activo	57
3.9	Aspectos de Planificación Del DAS Activo	58
3.9.1	No hay la necesidad de altas potencias	59
3.9.2	Rendimiento de datos en enlace ascendente	59
3.9.3	Ahorro en Costos de instalación y proyecto.....	60
3.9.4	MIMO Para sistemas Activos	60

3.10	Componentes del DAS Activo.....	61
3.10.1	Unidad Principal (MU).....	62
3.10.2	Unidad de Expansión (UE)	62
3.10.3	Instalación de Fibra Óptica	62
3.10.4	Unidades de Radio Remotas (RRU).....	63
3.11	Aplicaciones Para DAS Activo	65
3.11.1	Fibra Activa DAS	66
3.11.2	Rendimiento de Radio para DAS Activo	66
3.12	DAS Híbrido	68
3.12.1	Elementos del DAS activo Híbrido	68
3.12.2	Aplicaciones para DAS Híbrido	69
3.12.3	Otras Soluciones para DAS Híbrido	70
3.12.4	DAS Híbrido y MIMO	71
3.13	DAS Digital	72
3.13.1	Fundamentos de la interface CPRI	74
3.14	Consideraciones Para el Diseño de una Red DAS	76
3.14.1	La encuesta Del Sitio.....	78
3.14.2	Diseño de solución Óptima	78
3.14.3	Curso De Acción	78
3.14.4	Errores comunes que deben evitarse en la fase del diseño	79
3.15	Herramientas de diseño.....	81
3.16	Consideraciones	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		85
Conclusiones		85

Recomendaciones.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS	90

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el incremento de las demandas de tráfico en las redes móviles ha exigido a los operadores de estas redes dar respuestas adecuadas y con la calidad de servicio que se requiere a estas demandas mediante diferentes soluciones. Estas Soluciones han dado lugar a nuevas arquitecturas destinadas a incrementar la capacidad de las redes móviles principalmente en las locaciones donde las demandas son significativas, como son los centros comerciales, aeropuertos y centros de negocios, caracterizados como entornos en interiores. La solución más generalizada es la de complementar las estaciones macro mediante nodos de baja potencia que se denominan pequeñas celdas o mediante distribuciones de antenas ubicadas apropiadamente. Las redes resultantes de estas aplicaciones se denominan Redes Heterogéneas. Las soluciones mediante pequeñas celdas han sido abordadas ampliamente en trabajos anteriores, así que este trabajo se centra en analizar los sistemas de antenas distribuidas que presenta una solución novedosa con ventajas y desventajas con respecto a las pequeñas celdas, por ello es importante investigar esta solución y compararla con las anteriores. Lo que plantea la siguiente interrogante: **¿Cuáles son los aspectos que hacen posible que la tecnología de los Sistemas de Antenas Distribuidas constituya una solución adecuada a las demandas actuales de capacidad en las redes heterogéneas?**

Este trabajo tiene como objetivo general: Estudiar la tecnología del Sistema de Antenas Distribuidas como solución para el aumento de capacidad y cobertura en un entorno móvil multicelular en redes heterogéneas.

Los objetivos específicos están encaminados a:

1. Conocer las diferentes arquitecturas del Sistema de Antenas Distribuidas, sus principios y elementos que las integran.
2. Exponer consideraciones de diseño para la utilización de los sistemas de antenas distribuidas en interiores.

Las interrogantes científicas son:

- ¿Cómo se aborda el diseño de un Sistema de Antenas Distribuidas?

- ¿Cuáles son las principales ventajas del sistema De Antenas Distribuidas en un entorno Celular?
- ¿Cuál es el estado actual de la tecnología sobre el Sistema de Antenas Distribuidas?

Con la ejecución de este proyecto exponen nuevas arquitecturas para el despliegue de redes móviles. Las mismas pueden ser analizadas y aplicadas por los operadores para futuras ampliaciones de las redes existentes, que, en su casi totalidad, están basadas en estaciones base macro y que en muchos casos no solucionan la demandas fundamentalmente en interiores lo que brinda la posibilidad de cambiar la visión hacia soluciones más novedosas y más económicas.

Los resultados de esta investigación constituyen una referencia práctica para los operadores de empresas de comunicaciones que pretendan optimizar o adaptar las redes móviles existentes con el objetivo de satisfacer las demandas de servicio que se les presenten fundamentalmente de datos, así como aquellos que deseen desplegar nuevos sitios.

Organización del informe

Este trabajo está estructurado de la siguiente forma. Introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones, referencias bibliográficas y glosarios.

En la introducción se refleja la necesidad de investigación del tema haciendo énfasis en la problemática del incremento del tráfico en las redes móviles de macroceldas. Se refleja la importancia de las soluciones basadas en redes móviles con Antenas Distribuidas.

En el **capítulo 1** se realiza una caracterización de las redes móviles en la actualidad, las diferentes tecnologías móviles para solucionar asuntos de cobertura capacidad.

En el **capítulo 2** se comprueban como el sistema de antenas distribuidas resulta ser la manera más eficiente para solventar os problemas de cobertura y capacidad ocasionado pelo exponencial crecimiento del tráfico actual, se exponen también las diferentes arquitecturas de estos sistema, y que consideraciones tomarse a la hora de decidir sobre una de ellas, bien como sus ventajas y desventajas

En el **capítulo 3** se analizan los criterios de diseño para las diferentes arquitecturas DAS, los errores que deben evitarse para un mejor funcionamiento y sus limitantes.

Las conclusiones están acordes a los objetivos planteados y las recomendaciones están en correspondencia con trabajos futuros. La bibliografía es actualizada y pertinente. Consta

con varias referencias bibliográficas. Al final se encuentran los glosarios para complementar el contenido del informe escrito.

CAPÍTULO 1. Estado Actual de las redes móviles y Soluciones de cobertura y capacidad

Este capítulo está destinado primeramente a dar una visión genérica de la problemática de las redes móviles en la actualidad en cuanto a las demandas de tráfico y cuáles son las estrategias a seguir para dar respuesta a estas demandas. En un segundo plano se presentan las arquitecturas de redes derivadas de las estrategias adoptadas y las soluciones más utilizadas las que se basan en las tecnologías de pequeñas celdas y los sistemas de antenas distribuidas. Para la primera solución se hace una breve descripción de esta tecnología, los diferentes tipos de estaciones y las principales características técnicas. Además se exponen las principales dificultades en el despliegue de esta tecnología. A continuación se describe la tecnología de antenas distribuidas y sus características principales y finalmente se hacen comparaciones entre ambas tecnologías.

1.1 Consideraciones del tráfico en la actualidad

En la actualidad el creciente uso de los teléfonos, con su poderosa capacidad para resolvernos la vida más allá de la comunicación ha contribuido de manera rápida a la saturación de las redes móviles. Este crecimiento es exponencial y con una tendencia de incrementarse cada año, lo que supone una lucha para los proveedores de servicios móviles para proporcionar la calidad de servicio adecuada a sus usuarios en los lugares donde estos pasan la mayor parte de su tiempo; sus hogares, en el trabajo, o hasta durante sus actividades recreativas. Los estudios diversos de tráfico a nivel mundial dan un pronóstico de un aumento. El incremento de tráfico está determinado fundamentalmente por la proliferación de teléfonos inteligentes en el mercado, los que son utilizados, no solamente para acceder a Internet sino también para acceso de aplicaciones y Además, y como consecuencia de lo anterior, se va manifestando un aumento significativo en las demandas de tráfico en determinadas entornos como son: plazas muy ocupadas en una ciudad, calles comerciales, estaciones de ferrocarril, hoteles, centros comerciales, oficina y aeropuertos por mencionar algunos. Para estas locaciones los operadores deben brindar una consistente experiencia en cuanto este implica una mejora en el comportamiento de los datos tanto en el entorno general de las celdas como en sus bordes, y muy especialmente en interiores donde se genera aproximadamente el 70% del tráfico en la actualidad[1].

1.1.1 Estrategias para el incremento de la capacidad

Para satisfacer las demandas de tráfico, con la calidad de servicio adecuada, los operadores de redes móviles han tenido que adoptar estrategias encaminadas principalmente al aumento de la capacidad y la cobertura, esta última dirigida principalmente a los entornos de mayores demandas. Estas estrategias se basan en los principios siguientes:

1-Incremento de los recursos de la estación macro.

Lo que consiste en la mejora tecnológica de la estación macro mediante un aumento del espectro de frecuencia y su eficiencia así como la utilización de antenas más avanzadas y arreglos de múltiples antenas bajo los principios de la arquitectura MIMO además de la utilización de sistemas de antenas distribuidas (DAS) asociadas a una unidad remota para el aumento de cobertura y capacidad. La utilización de varias antenas aumenta el orden de diversidad lo que contribuye a incrementar el comportamiento ante desvanecimientos. Otro aspecto consiste en el aumento del procesamiento en banda base con el fin de incrementar la velocidad de datos a transmitir lo que va asociado al aumento de canales de radio y si es conveniente aumentar el número de sectores. Además, se introducen las mejoras técnicas asociadas a la tecnología en uso hasta el límite máximo o se puede también proceder al cambio de estas tecnologías hacia generaciones más avanzadas con el consecuente mejoramiento del backhaul en correspondencia con los requerimientos de estas nuevas tecnologías.

2-Diversificación de estaciones macro.

Cuando se han llevado las estaciones macro al límite máximo de rendimiento y no es suficiente entonces hay que proceder a incrementar el número de estaciones macro en la medida que sea posible.

3- Complementar las estaciones macro.

Esta estrategia consiste en añadir pequeñas estaciones o nodos de pequeña potencia en el área de cobertura de la estación macro como complemento de esta y denominadas pequeñas celdas. Las mismas son distribuidas en los puntos de mayor demanda de tráfico y en aquellos donde la cobertura de la estación macro no garantiza el servicio como son los bordes de la celda. Las pequeñas celdas brindaran una alta capacidad por usuario dentro de

su área de cobertura lo que potenciara el rendimiento de la estación macro asociada descargando tráfico en los puntos de acceso definidos por ellas. La estrategia de combinar pequeñas celdas conjuntamente con estaciones macro ha dado lugar al concepto de redes heterogéneas. Estas redes constituyen un medio atractivo de expansión de capacidad y en general pueden albergar varias tecnologías móviles simultáneamente. En la Figura 1 se representan las distintas estrategias[2].

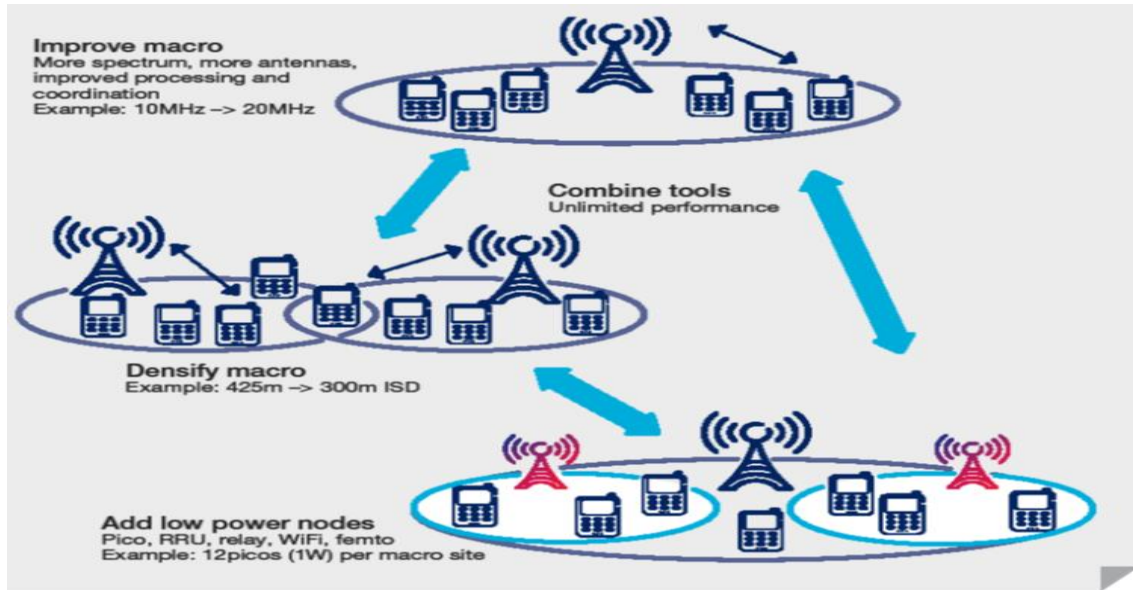


Figura 1.1 Diferentes estrategias para satisfacer las demandas de tráfico móvil

1.1.2 Redes Heterogéneas (HetNet) y pequeñas celdas

Las Redes Heterogéneas (HetNet) han jugado un papel importante en lo que concierne al problema de cobertura, así también lo hace los sistemas de antenas distribuidas (DAS). Una vez elegidas las tecnologías móviles que van a operar en la red las soluciones más eficientes para dar respuesta a las demandas de capacidad y cobertura son las correspondientes a la utilización de pequeñas celdas y sistemas de antenas distribuidas que pueden ser empleadas individualmente ya sea como única solución o combinadas según las necesidades del entorno y los recursos de transmisión

1.1.3 Entornos de Aplicación de las pequeñas celdas

Los entornos que justifican el despliegue de pequeñas celdas pueden agruparse de la siguiente forma:

- Puntos de acceso en exteriores de grandes demandas tales como, plazas y calles comerciales, con una densa red macro ya definida y que son áreas donde la interferencia es alta.
- Puntos de acceso aislados de alto tráfico localizados en interiores como son: centros de negocios y hoteles donde es difícil llegar mediante una estación macro en exterior.
- Puntos de acceso de alto tráfico en interiores, como centros comerciales, aeropuertos y estaciones del metro, donde las demandas de movilidad y la interferencia son altas.
- Puntos de acceso localizados en interiores o espacios con poca cobertura tales como oficinas pequeñas y restaurantes que exigen despliegues y gastos de estructura de las redes celulares convencionales

Otra forma de agrupación considera agrupar los entornos como:

- Hogar
- Empresas
- Urbanos
- Rurales

Esta agrupación es la adoptada por el Fórum de Pequeñas Celdas y a partir de ella define las estrategias a considerar para cada caso para el despliegue de las pequeñas Celdas.

Existen diferentes versiones de las pequeñas celdas, pudiendo ellas variar en números de usuarios que pueden manejar, potencia, y rango de alcance. Virtualmente todas ellas poseen la tecnología esencial de 3G para la portadora, LTE, y wi-fi. También poseen una fuente de potencia y la conexión de backhaul hasta las redes celulares móviles [3].

1.1.4 Tipos de Pequeñas Celdas. Características

Microcelda

Las microceldas típicamente soportan hasta 2000 usuarios con un radio de celda entre 200 metros a 2 kilómetros. Las microceldas se utilizan en áreas pequeñas en exteriores para mejorar la cobertura donde la correspondiente a la macrocelda es insuficiente. Emplea transmisores de corto rango con estación base celular integral. También puede ser encontrada en interiores donde las picoceldas no tienen suficiente cobertura. Las microceldas cubren un área limitada donde la cobertura de la macrocelda es insuficiente tales como comercios, hoteles y nudos de transportación.

Metrocelda

Al igual que otros tipos de pequeñas celdas estas operan bajo licencia del espectro del operador móvil. Son similares a las utilizadas en empresas con la diferencia de que proporcionan mayor potencia de salida (entre 1 W y 10 W) y soportan mayor número de usuarios. Por ello son utilizadas principalmente en aplicaciones de exteriores. Estas estaciones brindan una alternativa flexible y de bajo costo para la expansión de la macrocelda y pueden llevar a cabo divisiones de celdas aun cuando la capacidad se incremente a expensas de una construcción adicional en exteriores.

En consistencia con todas las pequeñas celdas, la relación señal-interferencia (SINR) es mejorada significativamente, lo que mejora grandemente el rendimiento en el enlace de aire mientras se descarga de la red macro, incrementando su capacidad. En relación con otras mejoras de capacidad se pueden lograr mediante agregación de portadoras, adición de espectro y técnicas de antena, las metroceldas ofrecen sustancialmente mayor capacidad.

Femtocelda

Cubren un radio entre 10 y 100 metros. Cuando son utilizadas en residencias se les denomina HNodeB si es de tecnología 3G o HeNodeB si es de tecnología LTE. Cada año se despliegan millones de femtoceldas en hogares. Su tamaño físico es igual al de un ruteador y en ocasiones viene combinado con uno. La potencia radiada a nivel de casas es entre 20mW y 100 mW mediante el uso de antenas omnidireccionales. Las femtoceldas originalmente están diseñadas para soportar un pequeño número de usuarios.

Picocelda

Las picoceldas soportan hasta 100 usuarios típicamente con un radio de celda entre 100 y 200 metros. Poseen funcionalidades similares a las femtoceldas pero con una potencia de salida superior, mayor alcance y soporta más usuarios. Son generalmente utilizadas en empresas y áreas públicas en interiores. Grandes empresas pueden ser cubiertas utilizando múltiples picoceldas especialmente cuando son utilizadas en varios pisos en grandes edificios, comercios, estaciones de trenes y aeropuertos. Las conexiones entre las antenas y las estaciones base utilizan básicamente Ethernet. En la Tabla 1 se exponen las principales características de los diferentes tipos de celdas[4].

Tabla 1.1 Características Técnicas de los diferentes tipos de Pequeñas Celdas[5].

	Macro	Micro	Metro/Pico	Femto
Power	40-60W	10-20W	1-10W	< 1W
UEs	1000s	>256	64-256	15-32
Deployed by	Operator	Operator	Operator	Consumer
Managed by	Operator	Operator	Operator	Consumer

1.2 Desafíos y Dificultades de Despliegue

Al igual que en el caso de las pequeñas celdas, el sistema DAS también se enfrenta a desafíos para su despliegue y los más importantes son:

1.2.1 El backhaul

El backhaul desempeña un rol muy importante ya que el mismo supone un desafío al despliegue de las pequeñas celdas pues su comportamiento afecta el rendimiento de las redes de acceso de radio. Por todo esto es necesario un backhaul de alto rendimiento y baja latencia. La selección del backhaul debe estar basada en el tipo de pequeña celda utilizada para que sea efectivo en cuanto a costos. Es necesaria una coordinación bien ajustada con las pequeñas celdas para el óptimo uso de los escasos recursos del espectro

Algunas portadoras en áreas de difícil alcance suelen usar como backhaul un enlace de microonda, aunque se prefiere fibra óptica por ser más veloz y confiable, pero con un alto costo de instalaciones pues requiere de acceso a las propiedades de la misma, excavación terrestre[6].

En las pequeñas celdas es común que el backhaul sea una mezcla de fibra y redes inalámbricas, si la fibra está disponible y es económica se puede usar, caso contrario se optara como backhaul una conexión inalámbrica[7].

Las frecuencias de los backhaul inalámbrico más populares son de 6, 11,18 y 23 GHz. Las mismas requieren de licencia de uso y casi siempre los equipos son muy caros[7].

1.2.2 Restricciones del Espacio y el Sitio

El diseño e instalación de sistemas DAS depende de una combinación de variable físicas relacionadas con el espacio y el sitio. Esto considera los materiales utilizados tanto en

interiores como exteriores, si el espacio incluye piso a bajo tierra como son los garajes, la posibilidad de que las señales de RF estén presentes en los pisos superiores o en entornos exteriores y el papel a jugar por la estética que puede impedir la instalación de hardware visible. Las más importantes consideraciones para el diseño y optimización de sistemas DAS en un espacio o sitio específicos son, en orden de importancia:

- Cobertura para una eficiente propagación de la señal
- Capacidad para permitir el máximo desempeño
- Soluciones que minimicen el costo de infraestructura

1.2.3 La problemática de escalabilidad

La planificación integral y la migración en fases ayudarán a los operadores a aumentar su capacidad en un área determinada de la red. Desde una perspectiva de red de radio, la complejidad de una red heterogénea compuesta por varias capas y tecnologías de radio podría fácilmente volverse incontrolable a menos que sea diseñada cuidadosamente.

1.2.4 El desafío del espectro

Para muchos operadores, el espectro de radio es un recurso limitado y una de las inversiones más estratégicas e importantes. Lo que conduce a una demanda sobre el espectro para que sea utilizado tan eficientemente como se pueda, en lo que se refiere en áreas densamente pobladas. En una red heterogénea. Las celdas pequeñas coordinadas e integradas mejoran el rendimiento por medio de la reutilización de la frecuencia, incrementando la capacidad y el rendimiento de datos de la red sin la necesidad de dividir el espectro disponible resultando en un tiene un impacto positivo en el rendimiento de la red de radio y consecuentemente en la experiencia general del usuario. El mayor beneficio de coordinación se logra cuando se usa un ancho de banda alto dedicado y un enlace de baja latencia entre varios radios proporcionados por la misma banda base. Unido a esta problemática está el aspecto de la interferencia debido a que el aumento de celdas en la red heterogénea aumenta el nivel de interferencia debido al reuso de frecuencias, Las técnicas de Multipunto Coordinado (CoMP) y la utilización de los métodos de Auto-Optimización de Red (SON) son soluciones que los operadores deben tener en cuenta antes de desplegar la red.

1.2.5 Costo y/o Tiempo

El costo de diseño de DAS depende de variables tales como: rango de frecuencia que se complica cuando se quiere integrar varias bandas de frecuencia lo que hace más complejo y costosa la implementación. Cuando se implementas redes DAS utilizando fibra óptica para la transmisión de las señales, los requerimientos de cableado, instalación y equipamiento los costos son mayores y el tiempo de despliegue aumenta. Para enfrentar esta situación se llevan a cabo iniciativas como son las de integrar infraestructuras convergentes, centralización de terminaciones de radio y antenas multipropósito entre otras. Este aspecto constituye el 35% de los inconvenientes en el despliegue DAS[8].

1.2.6 Cobertura de las Demandas futuras

Este aspecto constituye el 26% de los desafíos a los que se enfrenta esta tecnología y está motivado por la necesidad de cubrir las demandas creadas por el rápido crecimiento de las tecnologías móviles. Esto significa que el planeamiento de la red debe considerar las demandas futuras que se puedan presentar en los proveedores de servicios en cuanto a tráfico, utilización del espectro[9].Esto hace necesario que el sistema debe planearse con una arquitectura flexible que permita la fácil adición de más canales y frecuencias así como la introducción de MIMO.

1.3 El Sistema de Antenas Distribuidas, otra solución en redes Heterogénea

Otra tecnología bien establecida que también se puede considerar como parte de las redes heterogéneas es el sistema de antena distribuida (DAS).

Los sistemas de antenas distribuidas son el método más común seleccionado por los operadores para llevar capacidad y cobertura inalámbrica en los interiores de edificios[10].Tradicionalmente, la misma estación celular macro desplegada en el ambiente exterior ha sido desplegada en interiores para que sirva de fuente de señal para una red de antenas distribuidas a través de los locales. De forma alternativa se puede desplegar un repetidor o amplificador bidireccional como fuente de señal para amplificar las señales en el enlace de bajada provenientes de un sitio donante al igual que amplificar las señales en el enlace de subida provenientes de los usuarios que se encuentran dentro del edificio. En cualquiera de los casos el procesamiento de banda base y los recursos de radio del equipo

de red del proveedor están centralizados localmente ya sea en el local de la cabecera del equipamiento del sistema distribuido de antenas (DAS) o en el local donde se encuentran los equipos del donante o repetidor[11].

Los sistemas DAS son capaces de aceptar entrada de RF provenientes de una gran variedad de fuentes de señal lo que hacen neutrales a los proveedores de equipos de red así como las tecnologías (2G, 3G, 4G)[12]. Por esta razón, el sistema DAS es a menudo el elegido para comunicación inalámbrica dentro de edificios por su posibilidad de manejar aplicaciones de múltiples operadores y múltiples tecnologías. Existen muchos tipos diferentes de sistemas DAS basados en el método utilizado para distribuir las señales de RF de los proveedores a las antenas remotas. La arquitectura básica de una red DAS se muestra en la Figura 2

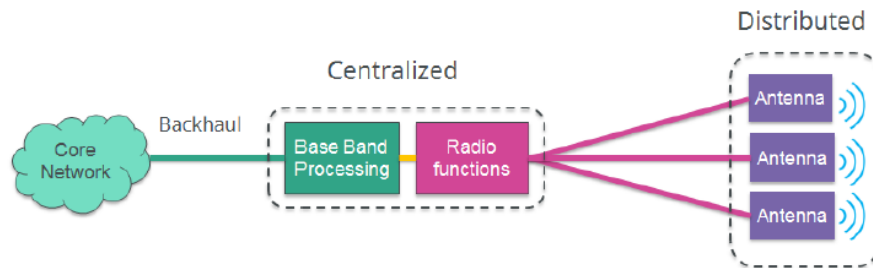


Figura 1.2 Esquema de la arquitectura básica del sistema DAS

Las redes móviles con sistemas de antenas distribuidas se están desplegando en la actualidad para proveer cobertura en áreas donde la cobertura es difícil y con poca capacidad para el usuario. Sus principales áreas de empleo son los lugares densamente poblados como estadios, oficinas de negocios, túneles y aeropuertos. La mayoría de los sistemas de antenas distribuidas actúan como una extensión de la estación base representando uno o más sectores inalámbricos de celda y usualmente están conectados a uno o varias unidades de radio remotas. En esencia un sistema de antenas distribuidas está estructurado por un número de antenas distribuidas adecuadamente en el área de cobertura que se desea lograr o en los puntos de la celda donde esta es escasa con el objetivo de lograr una cobertura superior en un área de importancia que no se logra con una sola antena clásica con patrón sectorial. El conjunto de antenas se conecta mediante cables a una unidad de radio representativa de un sector que puede estar situada en el sitio de la BTS o en una locación remota a la que se llega por diferentes medios de transmisión como son

enlaces por fibra o coaxial. En general, el sistema de antenas distribuidas modifica y extiende el área de cobertura de la celda y contribuye al aumento de capacidad en dicha celda[13].

Los tres (3) elementos principales en los sistemas de antenas distribuidas son:

1-Nodos remotos-que incluye al menos una antena para transmitir y recibir las señales de RF de los proveedores de servicios inalámbricos.

2-Un medio para transportar señales de alta capacidad (generalmente un cable óptico) conectando cada nodo DAS.

3-Las unidades de radio o transceptores a los que se conectan las antenas mediante líneas coaxiales o dispositivos intermedios de conversión óptica a radio frecuencia con conexiones de fibras ópticas y coaxiales[14].

En dependencia de la particular arquitectura de la red DAS y el entorno donde se va a desplegar los nodos pueden incluir equipos en adición a las antenas tales como amplificadores, radio remotos conversores de señales y fuentes de energía.

El sistema DAS utiliza un grupo de antenas designadas para reforzar en forma rápida la cobertura de la red celular en la áreas donde la señal es débil o no hay. Un escenario perfecto para utilizar DAS es en la áreas donde no hay visibilidad directa con las torres existentes. Otro escenario que se va tornando común en la actualidad y donde es útil esta tecnología son las áreas de demandas concentradas que podrían sobrepasar la cobertura existente de la red tales como hospitales, aeropuertos y arenas deportivas.

La tecnología DAS fue introducida por primera vez hace alrededor de 20 años. Las soluciones mediante Das no están encaminadas solamente a un suministro de pequeña celda sino también hacia un backhaul más eficiente. Los operadores móviles tienen interés en implementar tecnologías DAS y de fibra para crear un despliegue más efectivo en cuanto a costos[15].

Las ventajas del sistema DAS son cuantiosas debido a que pueden ser desplegadas en interiores y exteriores debido a que las instalaciones del nodo de antena son compactas.

Además, el tamaño y los requerimientos de potencia del sistema permiten su instalación en áreas donde las torres celulares tradicionales no pueden ser emplazadas[16].

Desde la inserción de la tecnología inalámbrica a nivel comercial, los operadores de redes han estado trabajando duramente para obtener el mayor número de usuarios[17]. Esto ha dado por resultado una lucha por mantener la calidad de servicio para incrementar el número y utilización de los sistemas celulares y además proporcionar servicio inalámbrico a personas en áreas aisladas o aquellas en áreas densamente pobladas, aunque costoso, el sistema DAS ha surgido como la solución más prometedora para la solución.

De acuerdo con Cisco, casi el 80% de los datos móviles es generado en interiores. La conectividad inalámbrica continua es esencial para el trabajo de los dispositivos móviles. Hoy en día los edificios y sitios están hechos de materiales que no permiten el paso de señales de RF, debido a lo cual existen muchos puntos muertos dentro de un edificio. Para eliminarlos y mantener una conectividad inalámbrica continua, se están desplegando un gran número de sistemas DAS dentro de grandes espacios y edificios a nivel global[18].

1.4 Comparación entre pequeñas celdas y DAS

Es algo común evaluar la tecnología DAS contra la de pequeñas celdas[19]. En el caso de las picoceldas y microceldas, estas son más baratas y fáciles de instalar pero soportan típicamente una sola banda de frecuencias del proveedor de servicios, por lo que ofertan baja capacidad. Por otro lado, las picoceldas soportan a lo sumo de dos a tres decenas de subscriptores simultáneamente lo que implica un servicio en un área pequeña y con una capacidad limitada. En cuanto al backhaul se refiere, cada pequeña celda requiere su propia conexión de backhaul, lo que implica un aumento de costos[20]. En comparación, en áreas donde los suscriptores demandan cobertura para todos de los proveedores de servicio, la red DAS puede soportar múltiples bandas de frecuencia y servicios de varios proveedores utilizando un grupo de antenas y una sola conexión de backhaul.

En cualquiera de las dos tecnologías comparadas una de las dificultades a vencer es la de tener acceso a las fibras para las conexiones con el backhaul lo que implica que el proveedor de servicios irremediablemente tendrá que proporcionar una nueva red de fibra para soportar estas tecnologías a menos que ya existiesen anteriormente provenientes de

redes de transmisión anteriores[21]. Sin embargo hay aspectos que hacen más eficiente a la tecnología DAS en el uso de la fibra.

En el caso de DAS la conexión de backhaul por fibra puede servir a cientos de suscriptores en contraste con las pequeñas celdas cuya conexión de fibra servirá solamente a un número relativamente pequeño de suscriptores.

El sistema DAS proporciona un punto de agregación en la red propio, donde se logran agregaciones del orden de 8:1 de forma que se agregan 8 bandas de frecuencias diferentes por un par simple de fibra que en el caso de las pequeñas celdas requeriría el despliegue por separado de ellas para soportar cada banda de frecuencias.

1.5 Estado actual de la tecnología DAS y pronósticos

Tabla 1.2 Comportamiento del mercado DAS entre el 2010 y 2016[22].

Distributed Antenna Systems (DAS) Market Size and Growth (millions)							
Service	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
US Outdoor wireless	\$450	\$540	\$648	\$778	\$935	\$1,100	\$2,000
North America In-Building Wireless	\$1,000	\$1,500	\$2,000	\$2,400	\$2,900	\$3,500	\$4,200
Worldwide In-Building Wireless	\$6,100	\$8,200	\$10,000	\$10,750	\$11,250	\$11,900	\$12,100
Worldwide DAS Market	\$6,100	\$6,900	\$7,700	\$8,300	\$10,800	\$13,400	\$15,400

Se espera que el mercado de sistemas de antenas distribuidas (DAS) crezca de USD 6.71 mil millones en 2015 a USD 10.78 mil millones en 2022, a un CAGR de 6.74% entre 2016 y 2022. Los principales factores que impulsan el crecimiento del mercado de DAS incluyen el aumento en el tráfico de datos móviles en todo el mundo debido a la creciente penetración de los teléfonos inteligentes, tabletas y portátiles. Además, los consumidores desean mantenerse conectados cada vez que están en movimiento contribuye además al crecimiento del mercado de sistemas distribuidos de antena (DAS)[22].

Se espera que el mercado DAS en la región de las Américas tenga el mayor tamaño de mercado, en términos de valor en 2015, mientras que se espera que el mercado DAS en Asia-Pacífico (APAC) exhiba la tasa de crecimiento más rápido entre 2016 y 2022. Los

factores Contribuyendo a este crecimiento incluyen el desarrollo de infraestructura en esta región especialmente en China y la India. Por otra parte, el creciente despliegue de conexiones 4G / LTE en la región APAC contribuye además al crecimiento del mercado DAS[23].

El alto costo de los sistemas distribuidos de antenas (DAS) puede obstaculizar el crecimiento de este mercado. Por ejemplo, el costo de la red DAS depende de varios factores, tales como la frecuencia y el tipo de edificio. El costo varía con la gama de frecuencias, ya se trate de las normas de seguridad pública VHF, UHF o 700-800 MHz.

Aspectos que merecen destacarse

- Los ingresos de DAS representan un 5% del mercado total de la infraestructura móvil.
- CommScope en EU es líder del mercado DAS global con un 17% seguido por Comba de Hong Kong.
- Los estadios de deportes y entretenimientos constituyen el grueso de los comercios de DAS y se consideran como DAS en interiores.[24]

1.5.1 Regiones Geográficas del Mercado DAS

- **Las Américas**
- **APAC (Asia- Pacifico)**
- **EMEA (Europa- Oriente Medio- África)**



Figura 1.3 Mercado del Sistema de Antenas Distribuidas por Región[23]

1.5.2 DAS y la Salud Pública

Las redes del DAS son seguras para los residentes y no representan un riesgo para la salud de la comunidad. DAS utiliza muchos nodos de baja potencia para completar su red de comunicaciones en lugar de antenas inalámbricas adicionales para cubrir la misma área. Las antenas montadas en el panel transmiten horizontalmente con baja potencia, eliminando cualquier preocupación de seguridad para los peatones o las cercanas residentes. Las mediciones de campo de radiofrecuencia (RF) son calculadas por ingenieros profesionales independientes para garantizar que no hay riesgo para el público. La intensidad de la baja energía de RF disminuye muy rápidamente con la distancia desde la antena.

Normas gubernamentales regulan los niveles de emisión de RF para garantizar la seguridad pública.

Para cumplir con este requisito, la FCC estableció la norma de exposición a la seguridad RF de las recomendaciones contenidas en las organizaciones nacionales e internacionales de estándares de seguridad RF. Estas normas fueron elegidas porque son ampliamente aceptadas, científicamente fundadas y técnicamente sostenibles.

Las recomendaciones de las agencias de salud federales debido a su responsabilidad especial para proteger la salud y la seguridad del público. Es importante darse cuenta de

que la máxima exposición pública permitida de radiofrecuencia de la FCC se establece en 50 veces por debajo del nivel que la mayoría de la comunidad científica Puede suponer una amenaza o un riesgo para la salud de la población humana. La máxima exposición pública de los típicamente menos de un pequeño porcentaje del estándar público de seguridad RF de la FCC. Esto significa que la energía de RF emitida por DAS es más de 2.500 veces inferior al umbral científico que podría causar efectos adversos para la salud[25].

1.6 Conclusiones del capítulo

Se han presentado en este capítulo la situación actual del tráfico móvil y los problemas a que se enfrentan los proveedores de este servicio como es la poca cobertura y capacidad. Se han presentado técnicas inicialmente ideales para solventar tal problemas, pero aun así la calidad y la necesidad de cobertura completa no era del todo satisfecha, se proponen entonces nuevas tecnologías como DAS, y Smallcell que en conjunto se denomina las hetnet que actualmente han estado en la vanguardia para proveer mejor cobertura en áreas de difícil acceso incrementar la capacidad de usuario especialmente en áreas densamente pobladas. Haciéndose un hincapié en las tecnologías DAS, sus ventajas en relación a las smallcell y el porqué de en la actualidad ser el futuro para el despliegue de redes móviles en interiores.

CAPÍTULO 2. Análisis de cobertura y capacidad para las tecnologías de Antenas Distribuidas en el enlace descendente

Este capítulo está dedicado exponer, en específico y con mayor rigor los fundamentos y arquitecturas de los sistema DAS sobre la base de los aspectos técnicos que definen esta tecnología. Esto incluye lo relacionado con los tipos de estructuras y sus principios básicos analizados sobre las diferentes arquitecturas derivadas. Finalmente, se exponen los resultados teóricos producto de análisis y estudios ya realizados en relación con el comportamiento y ventajas del sistema DAS en entornos multicelulares.

2.1 Sistemas Antenas Distribuidas

Los sistemas de antenas distribuidas (DAS) han sido ampliamente implementados en sistemas de comunicaciones celulares de vanguardia para cubrir puntos muertos.

DAS es un sistema que permite el uso de teléfonos celulares y otros dispositivos inalámbricos en áreas que no tienen acceso directo a una torre celular o fuente de energía. Su funcionamiento se basa en recibir energía de una fuente de radiofrecuencia (RF) distribuirla a través de un sistema de cables y antenas para que la señal alcance a lo largo de un edificio o espacio. Pese a que DAS es relativamente nuevo, la necesidad de su uso aumenta a ritmo rápido, eso se debe a la evolución de la tecnología, que ha producido un cambio en la forma en que se utilizan hoy los dispositivos inalámbricos. No hace mucho tiempo, los teléfonos celulares eran sólo una alternativa de comunicación conveniente para cuando estaba al aire libre, o lejos de un edificio con una línea fija. Ahora, más del 70 por ciento del uso del teléfono celular tiene lugar en el interior. Los usuarios quieren mantenerse conectados en todo momento. Además de este cambio, el uso de datos está aumentando rápidamente, y está en demanda en cada lugar. Con la demanda de teléfonos celulares y datos en constante aumento, las soluciones DAS se están convirtiendo rápidamente en una necesidad para empresas y edificios con desafíos de cobertura.

Cada nodo DAS de exteriores puede soportar hasta dieciséis bandas de frecuencia, típicamente tiene un rango de menos de la mitad una milla, y puede soportar hasta 300 conexiones simultáneas en dependencia de las características del transceptor de la estación

base que lo maneje. Dependiendo del número de Nodos de DAS y la capacidad del equipo inalámbrico interconectado a ellos mediante una red DAS, la arquitectura de DAS puede usarse para cubrir las áreas geográficas más grandes y/o miles de conexiones simultáneas. Al igual que el caso de exteriores, las redes DAS interiores pueden soportar hasta dieciséis bandas de frecuencias y también miles de dispositivos, en dependencia del número de unidades de radio por sectores asignadas a la red. A pesar de que la cobertura puede variar, los sistemas DAS interiores soportan áreas de cobertura típicas desde 5000 hasta 25000 pies cuadrados. Los grandes edificios pueden tener varios nodos DAS por piso[26].

2.2 Tipos de Sistemas Antenas Distribuidas

Existen diferentes tipos de sistemas de distribución, pero existen cuatro tipos principales:

- Pasivo
- Activo
- Híbrido
- Digital

2.2.1 DAS Pasivo

Como su nombre lo indica, emplea componentes pasivos de RF como cable coaxial, divisores, y acopladores para distribuir señales hacia las antenas.

En el DAS pasivo, las señales provenientes de una o más fuentes de RF son distribuidas a través del local utilizando solamente componentes pasivas. Por tanto, más allá de las fuentes de señal solo se encontrarán pérdidas, ya que no hay elementos con ganancia[27]. El área a cubrir o sectorización estará determinada por la capacidad de cableado desde cada fuente de señal a las zonas específicas del local en que se aplique. La Figura 2.1 se ilustran dos ejemplos para un sector típico mediante DAS pasivo a partir de tres fuentes de señal diferentes para proporcionar cobertura en varios pisos de un edificio.

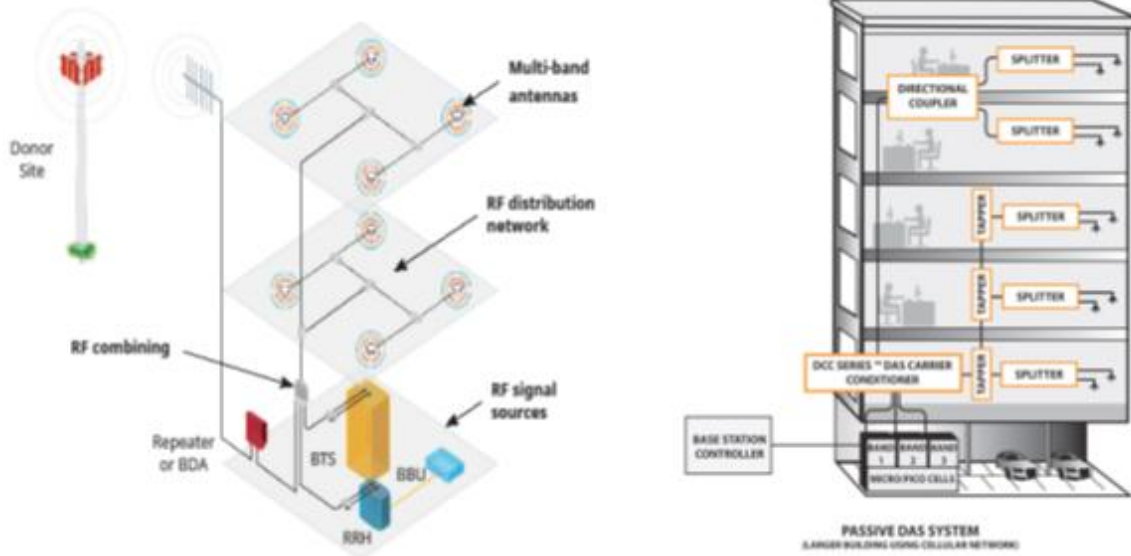


Figura 2.1 Ejemplos de despliegue de DAS pasivo

2.2.2 DAS Activo

Convierte las transmisiones de radiofrecuencia de la fuente de señal a una señal digital para su distribución. Dicha conversión se realiza en la unidad maestra. La unidad maestra puede digitalizar la señal desde una única portadora o múltiples portadoras. Una vez convertidas, el DAS transmite la señal digital a través de cable de fibra óptica o Ethernet a unidades de radio remotas (RRU) que convierten la señal de nuevo en modo RF[28].

Los sistemas DAS activos están disponibles en múltiples configuraciones diferentes. En la Figura 2.2 se ilustra una configuración general de este sistema y una aplicación

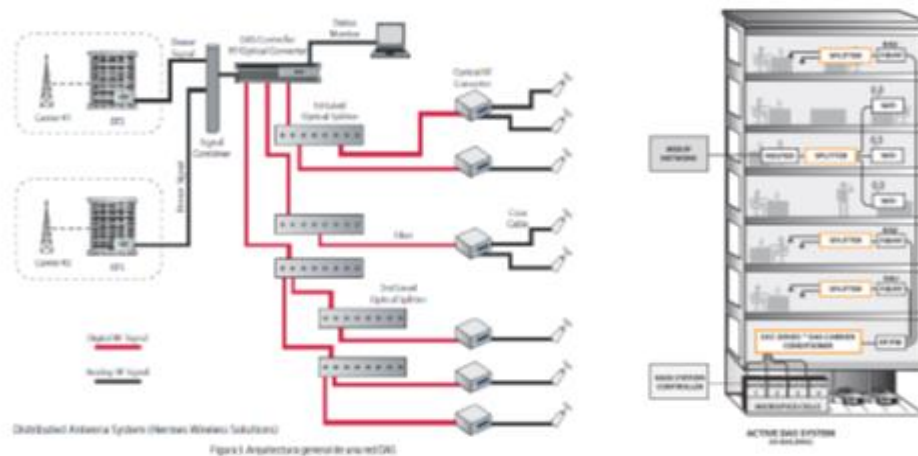


Figura 2.2 Esquema general de una red DAS activa y su despliegue en un edificio

De la figura se puede ver que las señales provenientes de varias fuentes de RF son acondicionadas, combinadas y convertidas a señales ópticas para ser distribuidas mediante cables de fibra óptica a las unidades de radio remotas distribuidas en el sitio. Las unidades de radio convierten de nuevo las señales ópticas en RF las amplifican y radian a través de antenas integradas o externas. En la dirección de recepción se hace el proceso opuesto. Los elementos que componen esta arquitectura son activos y poseen ganancia de aquí el nombre. La sectorización es determinada por el cableado[28].

2.2.3 DAS Híbrido

Emplea características de DAS pasivos y activos. Para mitigar los costos de una red DAS activa pura a menudo se despliegan configuraciones híbridas. El DAS híbrido utiliza componentes activas para transportar las señales hasta las zonas de cobertura mientras que utiliza componentes pasivas para distribuir la señal dentro de la zona. La Figura 2.3 ilustra este caso

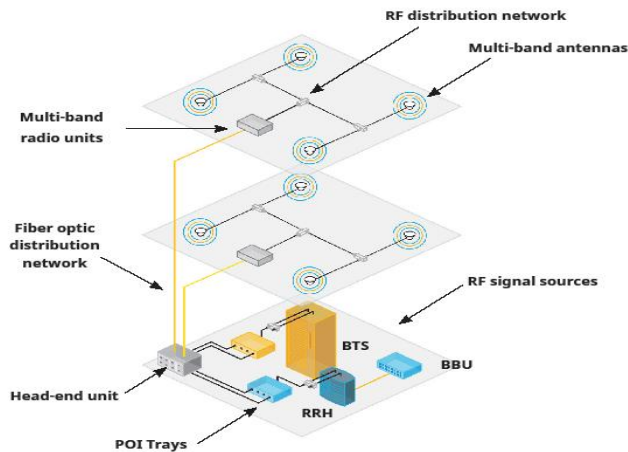


Figura 2.3 esquema de una red DAS híbrida para dos pisos en un edificio

La configuración de DAS híbrida requiere menos unidades de radio (una por zona de cobertura) por lo reduce los costos de implementación; pero requiere que las unidades de radio sean de alta potencia para enfrentar las pérdidas de los elementos pasivos

2.2.4 DAS Digital

La arquitectura de DAS digital utiliza radios producidos por el proveedor de equipos DAS y no los producidos por fabricante de equipos de red. El DAS digital es capaz además de

aceptar entradas de RF de una variedad de estaciones base con procesamiento de banda base y recursos de radio centralizados.

La diferencia clave entre DAS digital y DAS activo (o analógico) radica en que en la DAS digital el enlace entre la unidad central y las múltiples unidades de radio es digital. Los paquetes de datos de RF digitalizados de cada fuente de señal son multiplexados por división de tiempo en los enlaces ópticos o eléctricos. El protocolo CPRI (Interface de Radio Publica Común) u otros protocolos de interfaces de datos de radio propietarias pueden ser utilizadas para la comunicación dentro de la DAS. Debido a que cada paquete contiene una dirección de destino, los datos transmitidos pueden ser enrutados a una unidad de radio específica, creándose así la habilidad de distribución dinámica de capacidad a través del sitio en lugar de depender de asignaciones de recursos fijos. En un edificio dado, las capacidades asignadas a las aéreas de oficinas durante el día pueden ser reasignadas a aéreas de tiendas en la noche. En el caso de un estadio, las capacidades pueden moverse desde exteriores sobre las colas en las puertas de entrada antes de comenzar el juego hasta el interior en la medida en que el público vaya ocupando sus asientos. La mayoría de los productores de DAS digital pueden proporcionar un puerto Ethernet de 1 GBit por cada unidad de radio permitiendo la conexión de tráfico IP para cámaras, WiFi, además del paquete de datos de RF[29]. La Figura 2.4 ilustra un caso de arquitectura con DAS digital.

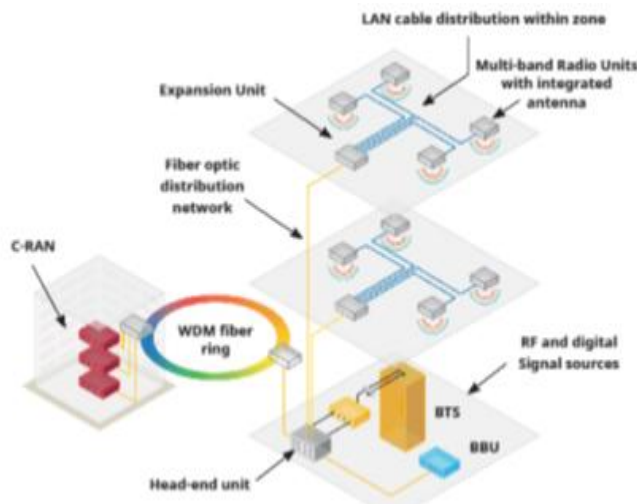


Figura 2.4 Esquema de red DAS digital aplicada a interiores de un edificio

2.2.5 Ventajas y Desventajas de las Arquitecturas del Sistema DAS

En la siguiente tabla se exponen las principales ventajas y desventajas de los diferentes tipos de sistemas DAS que podría servir como base a la hora de decidir cuál configuración es mejor para cada caso.

Tipo	Ventajas	Desventajas
DAS activo	<ul style="list-style-type: none"> • Fácilmente expandible • No hay límites para las longitudes de los cables. • Provee mayor cobertura • Enrutamiento más sencillo. • Posibilidades de colocar unidades de radio a grandes distancias de la unidad central. • Habilidad de modificación de sectorización después de instalada. • Posibilidad de ajuste de potencia transmitida individualmente por antena. • Habilidad de monitorear potencia reflejada a nivel de unidad de radio. • Menos posibilidades de generar PIM 	<ul style="list-style-type: none"> • Más caros que los sistemas híbridos o pasivos • Unidades remotas más caras y requieren energía dedicada. • Costo elevado de los materiales y las unidades constituyentes. • Requiere mayor espacio en el sitio de la unidad central.
DAS pasivo	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de los materiales durante el despliegue. • Mantenimiento simplificado • No requiere de equipo adicional para soportar miles de usuarios. • Alta confiabilidad. • Optimo en edificios donde no se esperan cambios significativos en cobertura y capacidad en el tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Límites en la longitud de cables pues cuanto mayor la distancia mayor será la atenuación de la señal • Cable coaxial puede ser costoso • Requiere cálculo preciso del presupuesto del enlace para asegurar un óptimo rendimiento. • Costos de instalación altos. • Alta probabilidad de interferencias por intermodulación pasiva. (PIM). • Dificultades de modificación una vez instalado. • No es fácil cambiar la sectorización ante cambios de capacidad en el sitio. • No es fácil ajustar los niveles de potencia en antenas específica dentro de la red.
DAS Híbrido	<ul style="list-style-type: none"> • Más barato que la configuración activa • Fácilmente expandible • No hay límites para las longitudes de los cables. • Enrutamiento más sencillo. • Posibilidades de colocar unidades de radio a grandes distancias de la unidad central. • Habilidad de modificación de sectorización después de instalada. • Posibilidad de ajuste de potencia transmitida individualmente por antena.(menor que el caso activo) • Habilidad de monitorear potencia reflejada a nivel de unidad de radio. • Longitud de cables coaxiales corta por lo que hay menos variaciones de potencia entre extremos de banda que el caso pasivo. • Mejor compromiso entre costo, rendimiento y mantenencia par múltiples operadores en grandes sitios y complejos con requerimiento de cambios de cobertura dinámicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Más caro que la configuración pasiva • Requiere de presupuesto de enlace en cada piso • Más complicado de instalar pues usa fibra y coaxial. • Aunque en menor escala que el caso pasivo, puede generar PIM debido al nivel de potencia de las unidades de radio y las múltiples conexiones con cada antena.
DAS Digital	<ul style="list-style-type: none"> • Las mismas ventajas del DAS activo • Tiene la habilidad de manipular capacidad dinámicamente desde una zona a otra cuando sea necesario. • Posee la habilidad de multiplexar tráfico IP sobre la misma infraestructura de cable. • Es capaz de tolerar pérdidas ópticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Se hacen necesarias pruebas para probar la interoperatividad entre los proveedores de equipos de red y DAS. • A pesar de que tanto los proveedores de red como los de DAS utilicen la interface CPRI como protocolo de comunicación, esto no asegura que ambos sistemas trabajen en conjunto, sobre todo ante cambios de

	<p>significativamente grandes debido a la relación SNR mejorada por el enlace óptico lo que reduce el costo al poder utilizar la fibra ya instalada en el local en lugar de requerir nuevos enlaces ópticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La intermodulación (PIM0 solo se presentara en la cercanía de las antenas 	<p>Firmware por cualquiera de ellos</p> <ul style="list-style-type: none"> • La utilización de multiplexacion por división de tiempo requiere un ancho de banda adicional
--	--	--

2.3 Fuentes de Señal para los Sistemas Antenas Distribuidas

Las fuentes de señal para un sistema DAS son probablemente el factor más importante para determinar tanto el área de cobertura como la capacidad. No importando lo bien que se ejecute el sistema de distribución, un DAS está siempre limitado por la calidad de la señal que suministra la red. Las fuentes de señal utilizadas en las diferentes arquitecturas DAS pueden ser las siguientes:

- Recepción desde el aire mediante repetidores
- Amplificadores Bidireccionales
- Radio Bases GSM (BTS)
- Nodo B (WCDMA)
- eNodoB (LTE, LTE A)
- Pequeñas Celdas

En el caso de DAS digital es posible también usar fuentes de señal digitales[30].

2.3.1 Combinación de las fuentes de señal

El objetivo está dado por combinar los trayectos de diversidad y principal de cada sector asociado a la estación base utilizada. Los métodos básicos de combinación son:

- Mediante combinadores híbridos de banda ancha para proveer a la estación base de los trayectos de diversidad y principal con los niveles de señal adecuados desde el enlace de subida del sistema DAS.
- Mediante el uso de combinadores híbrido y/o filtros de cavidades de bajas pérdidas en el caso en que se quieren combinar las fuentes de señal que sirven a zonas específicas dentro del sitio. La elección dependerá de la frecuencia de la fuente de señal, la configuración del sitio, el número de zonas soportadas por cada fuente en particular y el aislamiento requerido entre estas fuentes[27]. En la figura 2.5 se muestra un diagrama representativo de estos procesos.

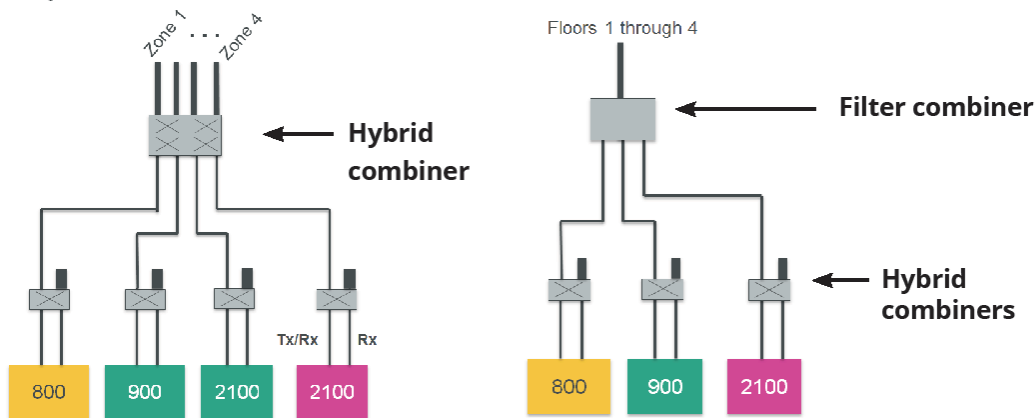


Figura 2.5 Técnicas de combinación en sistemas DAS

Cuando el sistema DAS utiliza una fuente de señal del aire utiliza una antena de donante en el techo para recibir y transmitir señales. Las señales recibidas del aire son las fuentes de señal más comunes para un DAS. Si la señal en la antena del donante es muy débil o la torre más cercana está bastante congestionada, a veces no es factible utilizar una señal fuera del aire. Sin embargo, si la señal del donante es fuerte y clara, una señal fuera del aire es a menudo la fuente de señal más fácil y rentable.

Un DAS que utiliza una fuente de señal del aire no añade ninguna capacidad adicional a la red de transporte y se utiliza principalmente para ampliar la cobertura en los bordes de la red. Estos despliegues suelen ser la opción de menor costo y son más adecuados cuando la principal razón para implementar un DAS es extender la cobertura dentro de edificios.

2.4 Sistemas Antenas Distribuidas y MIMO

Mientras que las mayoría de los sistemas DAS existentes son configuradas para acomodar conexiones SISO (simple entrada/simple salida) es posible acomodarlas también para MIMO (múltiples entradas/múltiples salidas) operando tanto en UMTS como en LTE mediante el uso de una segunda alimentación de RF y entrelazando puntos de acceso a lo largo de la línea de transmisión o colocando sistemas paralelos [14]. En forma general un sistema DAS podría tener la arquitectura que se muestra en la Figura 2.6.

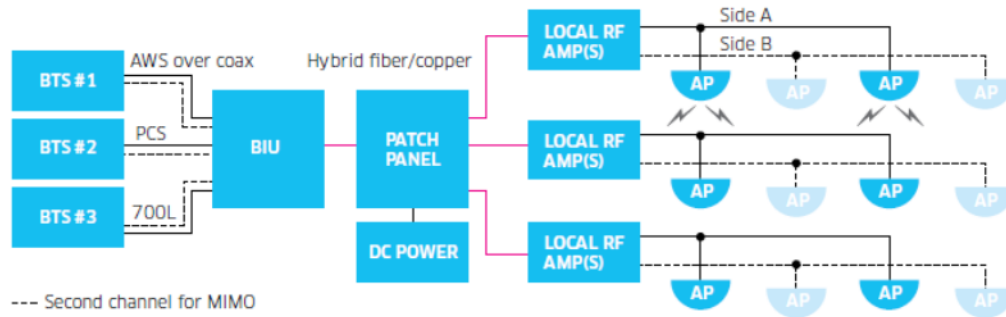


Figura 2.6 Ejemplo de una arquitectura del sistema DAS con MIMO

En esta arquitectura general, las señales de banda bases provenientes de diferentes BTS se envían a través de líneas coaxiales al bloque BIU o Unidad de Interface de Banda Base encargada de amplificar las señales de entrada y realizar una conversión de RF a fibra óptica. La salida de la BIU se aplica a un panel de distribución que representa la distribución interna del local y donde se aplica la alimentación de los diferentes amplificadores locales encargados de llevar la señal de RF a los distintos puntos de acceso implementados mediante antenas.

La arquitectura mostrada se puede desplegar tanto para cobertura en exteriores como en interiores. En el caso de interiores se adecua en espacios donde hay una gran concentración de personas (estadios de deportes, convenciones, hospitales etc.) mientras que el DAS exterior generalmente se emplea en áreas urbanas y suburbanas con requerimientos de capacidad media-alta de capacidad.

Aunque la tecnología DAS se introdujo inicialmente para resolver los problemas de cobertura en puntos sin señal, bordes de celda y principalmente en interiores de edificios, los estudios posteriores han demostrado su utilidad para reducir la potencia de transmisión e incrementar la capacidad del sistema. Por esta razón, muchos operadores han considerado muy seriamente la sustitución de sistemas celulares tradicionales por sistemas de antenas distribuidas o adoptar esta arquitectura en el futuro. Esto no obliga a analizar el sistema DAS en un entorno multicelular donde los módulos de antena conjuntamente con la estación base forma un vector de canal macroscópico MISO lo que permite interpretar el sistema DAS como un sistema macroscópico de múltiples antenas. En esta parte de este trabajo se presentan los resultados más relevantes derivados de los diferentes trabajos

realizados encaminados al análisis del sistema DAS en un entorno multicelular particularmente en el enlace de bajada y para diferentes estrategias de transmisión y se ponen de manifiesto las potencialidades y mejoras que se logran con esta arquitectura en comparación con la arquitectura tradicional de estaciones macro[31] En este sentido se presentan las ventajas del sistema DAS en un entorno multicelular en cuanto a eficiencia de potencia, la relación señal a interferencia más ruido y la capacidad alcanzable.

2.5 Arquitectura Multicelular

En DAS, los módulos de procesamiento principales, tales como tarjetas de canal, están centralizados en una ubicación (unidad central) y están conectados con módulos distribuidos de antena. Cada módulo de antena distribuida está conectado físicamente con una estación base mediante de líneas dedicadas, fibra óptica o un enlace de RF exclusivo. En la Figura 2.7 se muestra una arquitectura general de DAS en un entorno multicelular, donde el área de la celda tradicional está cubierta por una pequeña estación base y seis módulos de antena distribuidos. En contraste, la misma área está cubierta por una única estación base de alta potencia de sistemas celulares tradicionales. Alternativamente, la pequeña estación base y 6 módulos de antena distribuida pueden ser vistos como una alternativa a 7 pequeñas estaciones base tradicionales (pico / microcélulas). El número de módulos distribuidos de antena estaría determinado por la cobertura, las densidades de usuario y otros factores ambientales, pero se consideran 6 módulos de antena distribuidos como un ejemplo razonable. La potencia de transmisión total de cada módulo de antena distribuida será $P_i^{(j)}$ donde i representa el módulo de antena dentro de la macrocelda y j representa la macrocelda dentro de la estructura. Bajo esta definición, la pequeña estación base localizada en la macrocelda central tendrá los índices $i=0$ y $j=0$.

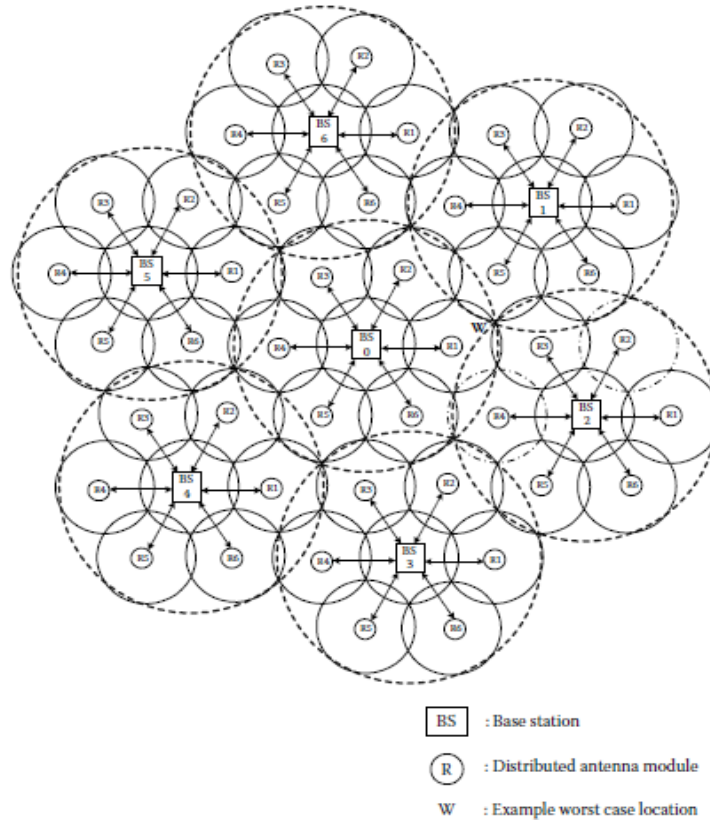


Figura 2.7 Estructura del sistema DAS multicelular

A lo largo de este trabajo, se asume que:

- P es la potencia de transmisión total de la estación base convencional y se cumple que:

$$P = \sum_{i=0}^6 P_i^j$$

- R es el radio de cobertura de la estación macro delimitado por línea s discontinuas
- r es el radio de cobertura del módulo de antena distribuida delimitado en línea continua.
- Se considera un solo nivel de celdas interferentes alrededor de la principal.

2.6 Estrategias de Transmisión

De las posibles estrategias se seleccionaron las siguientes:

- **Esquema de transmisión global:** donde todos los módulos de antena la estación base transmiten simultáneamente. Este constituye un sistema de macroscópico de antenas distribuidas.
- **Esquema de transmisión selectivo.** Donde un solo módulo de antena o la estación base es la que trasmite sobre la base de minimizar las pérdidas de trayecto. Esta estrategia explota la diversidad de selección macroscópica y tiende a reducir la interferencia de otras celdas (OCI) al reducirse el número de estas.
- **Esquema de transmisión de doble selección.** Aquí transmite siempre la estación base y un módulo de antena seleccionado sobre la base de las pérdidas de trayecto

Se asume un escenario de un solo usuario y la posición W indica el peor caso donde el móvil está en el borde[32].

2.7 Modelación del Canal

Para el caso del esquema de transmisión global los módulos de antena y la estación base forman un definen un vector MISO macroscópico denominado \mathbf{h} que visto en el entorno de la macrocelda central $j=0$ está definido como:

$$\mathbf{h} = \left[\sqrt{L_0^{(0)}} h_0^{(0)} \quad \sqrt{L_1^{(0)}} h_1^{(0)} \quad \dots \dots \sqrt{L_6^{(0)}} h_6^{(0)} \right] \quad (1)$$

Donde:

- $L_i^{(j)}$ denota las pérdidas de trayecto de propagación y el desvanecimiento por sombra desde el modulo de antena \mathbf{i} dentro de la macrocelda \mathbf{j} .
- $h_i^{(j)}$ denota el desvanecimiento de pequeña duración desde el módulo de antena \mathbf{i} dentro de la macrocelda \mathbf{j} y que constituye una variable aleatoria Gaussiana independiente e idénticamente distribuida y con una distribución normal compleja
- Se asume que el canal de desvanecimiento está estable durante la duración de un símbolo.

Si el vector representativo de señal transmitida se representa por:

$$x = [x_0^{(0)} \ x_1^{(0)} \ \dots \ x_6^{(0)}]^T$$

Donde $x_i^{(j)}$ es la señal transmitida por el modulo de antena i en la macrocelda j . y se cumple que: $E = [|x_i^{(j)}|^2] = P_i^{(j)}$ que es la potencia total transmitida por el modulo de antena i en la celda J .

Por tanto, la señal recibida y en la estación móvil durante la duración de un símbolo dado estará dada por:

y = señal recibida + interferencia proveniente de las celdas adyacentes + ruido

$$y = \mathbf{h}x + \sum_{j=1}^6 \sum_{i=0}^6 h_i^{(j)} \sqrt{L_i^{(j)}} x_i^{(j)} + n \quad (2)$$

Donde n es un ruido aditivo gaussiano con variancia σ_n^2

Si se considera que el número de las fuentes interferentes es suficientemente grande y además son independientes una de otra se puede asumir que la interferencia más ruido es una variable compleja aleatoria gaussiana denominada z que posee una variancia $\sigma_z^2 = \sum_{j=1}^6 \sum_{i=0}^6 L_i^{(j)} P_i^{(j)}$ en virtud del Teorema del Limite Central.

Para el caso del sistema celular convencional la interferencia más ruido estará dada por:

$$\sigma_c^2 = \sum_{j=1}^6 L_0^j P_0^j + \sigma_n^2 \quad (3)$$

Cuando se utiliza el esquema de selección de transmisión única, la señal recibida es dada por:

$$y = \sqrt{L_m^{(0)}} h_m^{(0)} x_m^{(0)} + \sum_{j=1}^6 h_m^{(j)} \sqrt{L_m^{(j)}} x_m^{(j)} + n = \sqrt{L_m^{(0)}} h_m^{(0)} x_m^{(0)} + z_1 \quad (4)$$

Donde m indica el argumento máximo del conjunto de valores de $L_i^{(j)}$ para valores de i entre $(0, 1, \dots, 6)$ o sea

$$m = \arg \max_{i \in (0,1,\dots,6)} \{L_0^{(j)}, L_1^{(j)}, \dots, L_6^{(j)}\} \quad (5)$$

Lo que significa que la señal recibida será aquella proveniente de la celda i para la cual las pérdidas de trayecto son mínimas y la señal transmitida será máxima conjuntamente con el

ruido y la interferencia representados por la variable aleatoria compleja gaussiana z_1 con una varianza dada por $\sigma_{z_1}^2$

Para el caso en que la estrategia de transmisión es dual, la expresión de la señal recibida ser:

$$y = \sqrt{L_0^{(0)}} h_0^{(0)} x_0^{(0)} + \sqrt{L_m^{(0)}} h_m^{(0)} x_m^{(0)} + z_2 \quad (6)$$

Donde ahora se considera la señal proveniente de la estación base sumada a la del módulo de antena seleccionada en base a los mismos criterios ya mencionados y donde ahora el argumento máximo solo considera los valores de i a partir de 1 y la variable z_2 tiene el mismo significado que en el caso anterior pero con una varianza dada por $\sigma_{z_2}^2$

Conocidas las expresiones de señal recibida en los diferentes casos para la arquitectura multicelular DAS se presentan ahora las mejoras que esta arquitectura puede proporcionar en cuanto a eficiencia de potencia, relación señal a ruido más interferencia y capacidad ergódico del canal como resultado de los trabajos que en este sentido han sido realizados[32].

2.8 Eficiencia de Potencia

La eficiencia de potencia se calcula comparando la potencia requerida para Área de cobertura de una sola célula, y se calcula sobre la base de la pérdida de trayectoria de propagación.

Basándose en la arquitectura de antena distribuida mostrada en la Figura 1.7, el área cubierta por la estación base pequeña y los seis módulos de antena distribuidos está dada por:

$$(3\pi + 6\sqrt{3})r^2 \quad (7)$$

El radio de un círculo con la misma área será

$$r \sqrt{\left(12 \frac{\sqrt{3}}{\pi} - 1\right)}. \quad (8)$$

Si se asume que la potencia de transmisión requerida para cada módulo de antena distribuida y la estación de base pequeña para soportar el área circular con radio r es P .

Entonces, la potencia total requerida para soportar el área de cobertura efectiva es $7P$ en la estructura de antena distribuida, mientras que la correspondiente a la estación base macro con la misma área de cobertura efectiva en la estructura celular tradicional se convierte en:

$$\left(12\frac{\sqrt{3}}{\pi} - 1\right)^{\frac{\alpha}{2}} P \quad (9)$$

Asumiendo que la pérdida de trayecto de propagación es $L = d^\alpha$ donde α es el exponente de pérdida de trayecto. Por tanto, la eficiencia de potencia de la estructura de antenas distribuidas esta dado por:

$$\eta = \frac{\left(12\sqrt{3}/\pi - 1\right)^{\frac{\alpha}{2}} P}{7P} = \frac{\left(12\sqrt{3}/\pi - 1\right)^{\frac{\alpha}{2}}}{7} \quad (10)$$

Para el caso de que el exponente de pérdida de trayecto sea 4, la ganancia por eficiencia de potencia es de aproximadamente 4,51 (= 6,54dB). Este resultado muestra que una estructura de antena distribuida requiere mucha menos potencia para soportar la misma área de cobertura[33].

2.9 Relación señal-interferencia más ruido (SINR)

Aquí se muestra cómo la estructura de antena distribuida puede reducir el OCI y mejorar la SINR en enlace descendente aumentando la intensidad recibida de la señal deseada y reduciendo la potencia de la interferencia recibida. Dado que el escenario de limitación de interrupciones en las redes celulares suele ser una estación móvil en el límite de la celda. Se asume que los mismos datos no codificados se transmiten a través de múltiples módulos de antena. Para una comparación apropiada con la estructura celular tradicional, también se asume que la potencia de transmisión de cada módulo de antena distribuida es $0.1P$ y la potencia de transmisión de la estación base de origen es $0.4P$, Para una potencia de transmisión total de P , tanto en la estructura de antena distribuida como en la estructura celular tradicional. Considerando la estrategia de transmisión múltiple en el sistema en DAS macrocelular y para una localización dada de la estación móvil, el valor esperado del SINR, considerando un desvanecimiento a corto plazo, viene dado por:

$$\mathbb{E}[\gamma] = \frac{\sum_{i=0}^6 L_i^{(0)} P_i^{(0)}}{\sum_{j=1}^6 \sum_{i=0}^6 L_i^{(j)} P_i^{(j)} + \sigma_n^2} \quad (11)$$

El procedimiento es similar para otros esquemas de transmisión.

Si se grafica la expresión del SINR en dB para todos los esquemas de transmisión presentados, en función de la distancia normalizada desde la estación base hasta el móvil en la dirección del peor caso y utilizando un exponente de pérdidas de trayecto de valor 4.0 obtenemos las curvas representadas en la Figura 2.8

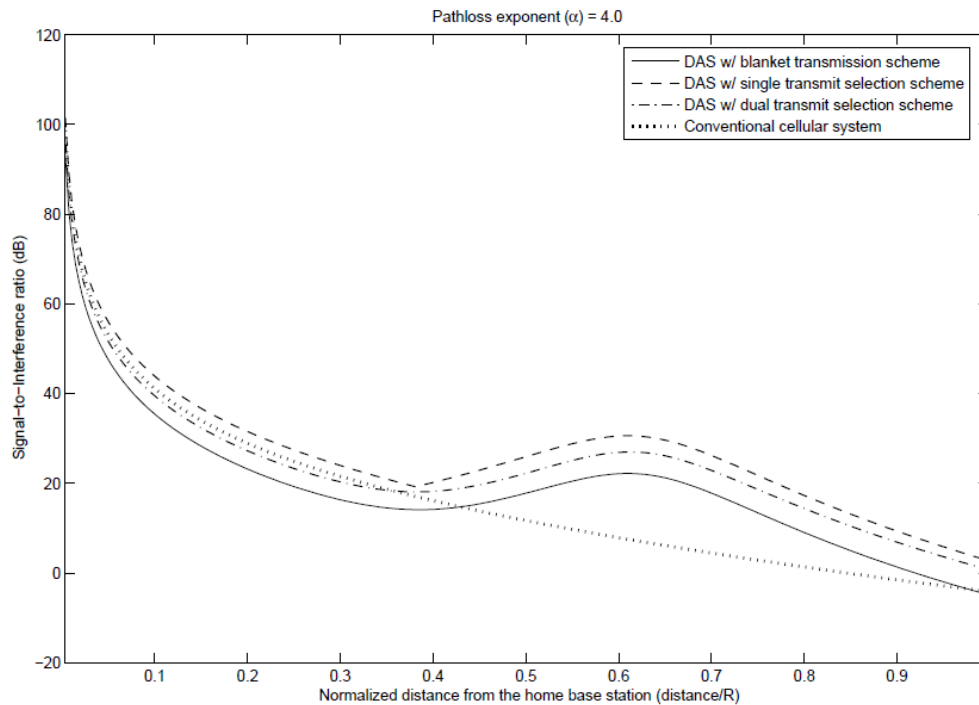


Figura 2.8 SINR en función de la distancia normalizada desde la estación base

En la figura 2.8 se demuestra que la arquitectura DAS en el esquema de transmisión selectivo simple, supera al sistema celular convencional a todas las distancias mientras que en el caso de transmisión múltiple este se comporta peor cuando el móvil está cerca de la estación base, sin embargo todos los esquemas son sustancialmente superiores al sistema convencional para valores superiores a 0.5 de distancia normalizada. Comparado con el

SINR calculado en una locación, el SINR promedio en una celda puede ser calculado también si se asume una distribución uniforme de las estaciones móviles es decir:

$$\gamma_{avg} = \int_S \mathbb{E}[\gamma(r, \theta)] dS \quad (12)$$

Donde S representa el área cubierta por los 6 módulos de antena distribuidos y la estación base. El valor promedio del SINR está estrechamente relacionado con el desempeño promedio del sistema. La Figura 2.8 muestra el valor promedio del SINR para cuatro sistemas diferentes en función del exponente de pérdidas de trayecto. La estructura celular DAS con selección posee el valor superior de SINR independientemente del exponente de pérdidas de trayecto y todos los esquemas de transmisión de DAS sobrepasan significativamente los sistema celulares convencionales, especialmente cuando las pérdidas de trayecto son severas. Al igual que en la Figura 2.8, la Figura 2.9 también sugiere que el esquema de transmisión de simple selección es el más efectivo para reducir la interferencia de otras celdas (OSI) y mejora la relación SINR[33, 34].

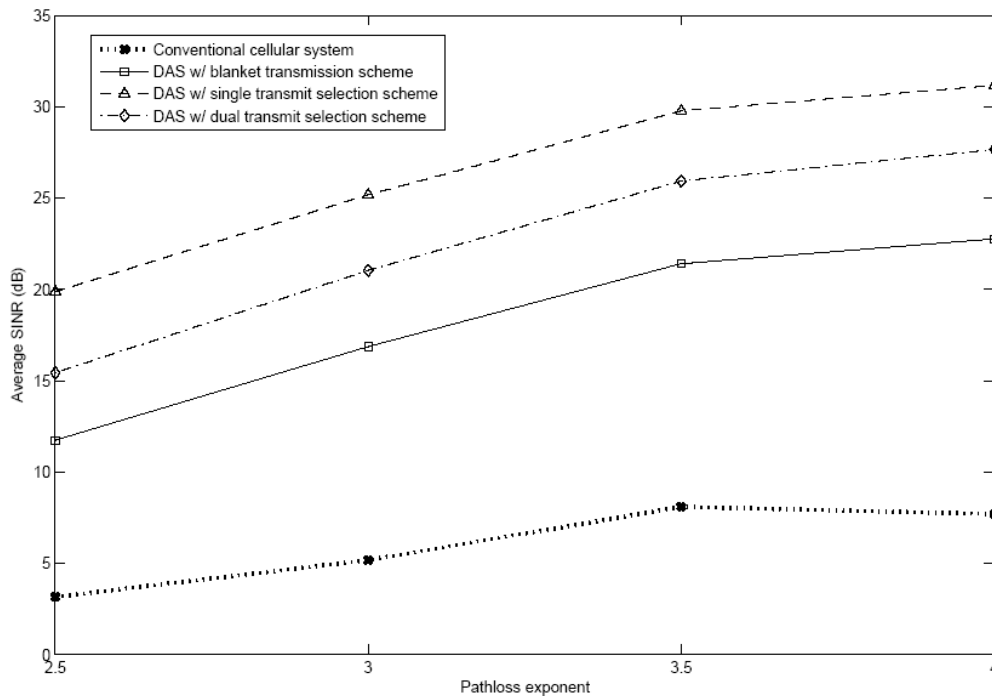


Figura 2.9 Valores de SINR en función del exponente de pérdidas de trayecto[33]

Otro aspecto comparativo de importancia es la capacidad que puede ser alcanzada por un sistema DAS en relación con la arquitectura tradicional. Para ello se presentan los resultados del estudio de trabajos realizados en este sentido citados en las referencias [32], [33], [34] encaminados a derivar las expresiones de la capacidad del canal en diferentes situaciones sin pretender exponer los desarrollos de las formulaciones y el tratamiento matemático de las mismas que no constituye el objetivo.

Se presentan solamente las expresiones de capacidad del canal derivadas sobre la misma arquitectura y el modelo de sistema anterior, considerando un vector de canal MISO, bajo la consideración de que el canal es ergódico y que la información del canal es conocida solamente en el receptor (estrategia de transmisión CSIR).

Las expresiones de la capacidad ergódico para este caso son las siguientes:

- Para transmisión múltiple:

$$C = -\frac{1}{\ln 2} \sum_{i=0}^6 \pi_i \exp\left(-\frac{\sigma_z^2}{L_i^{(0)} P_i^{(0)}}\right) E_i\left(\frac{\sigma_z^2}{L_i^{(0)} P_i^{(0)}}\right) \quad (13)$$

$$\text{Donde: } \pi_i = \prod_{k=0, k \neq i}^6 \frac{L_i^{(0)} P_i^{(0)}}{L_i^{(0)} P_i^{(0)} - L_k^{(0)} P_k^{(0)}} \quad (14)$$

$$\text{Y } E_i(x) = \int_{-x}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt \text{ que no es más que la función integral exponencial}$$

- Para transmisión selectiva simple

$$C_{sel} = -\frac{1}{\ln 2} \exp\left(-\frac{\sigma_{z1}^2}{L_m^{(0)} P_m^{(0)}}\right) E_i\left(-\frac{\sigma_{z1}^2}{L_m^{(0)} P_m^{(0)}}\right) \quad (15)$$

- Para el sistema celular convencional

$$C_{conv} = -\frac{1}{\ln 2} \exp\left(-\frac{\sigma_c^2}{L_0^{(0)} P}\right) E_i\left(-\frac{\rho_c^2}{L_0^{(0)} P}\right) \quad (16) \quad [33]$$

Estas ecuaciones son presentadas en un gráfico de capacidad DAS en función de la distancia normalizada desde la estación base hasta donde se encuentra el receptor, para la peor condición y para un valor 4.0 del exponente de pérdidas de trayecto, lo que se puede ver en la Figura 2.10.

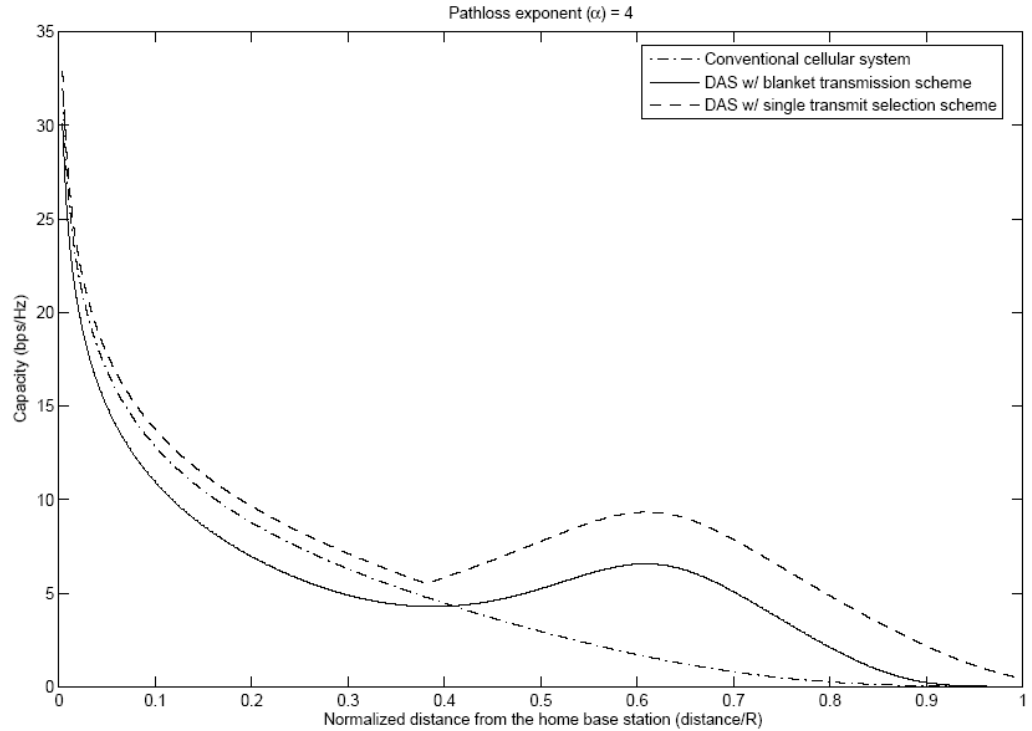


Figura 2.10 Capacidad ergódica con CSIR en función de la distancia normalizada desde la estación base para diferentes estrategias de transmisión y la estación base convencional.

La figura 2.10 fue realizada considerando que cada módulo de antena distribuido y la estación transmite una potencia igual a $0.1P$ mientras que la potencia de la estación base es $0.4P$. Por otro lado, se consideró que la potencia transmitida por la estación base convencional es de un valor P . De la figura se puede apreciar que la relación entre las diferentes curvas no es monótona. Esto se debe a que la señal proveniente de un módulo de antena distribuido se torna dominante alrededor de $0.6 R$. En el caso de la estrategia de transmisión simple se nota que esta alcanza el mayor desempeño lo que se debe a que este método es el menos afectado por la interferencia de otras celdas. Por otro lado en el caso del esquema de transmisión simultánea, el sistema celular DAS se comporta ligeramente menor en cuanto a desempeño con relación al sistema convencional debido a la reducción de la potencia de transmisión, siendo superior por encima de $0.5 R$. Es importante destacar que el 80% de los usuarios están normalmente entre $0.5R$ y R si se asume una distribución uniforme y el restante 20% tendrá un valor de SINR muy superior ya que están más cercanos a la estación base y más lejos de la celdas interferentes. Este resultado demuestra

que un sistema multicelular DAS puede proporcionar más capacidad que el sistema celular convencional en las condiciones prácticas donde están distribuidos la mayoría de los usuarios.

2.10 Relación señal-interferencia más ruido (SINR)

En este capítulo se presentaron los resultados favorables que se logran implementando un sistema DAS diferencia de los sistemas macro convencional. Se pudieron observar gráficamente la mejora de este sistema en lo que se refiere a la eficiencia de potencia, capacidad considerando el canal como ergódico, la relación-señal interferencia-más ruido (SINR), el esquema de transmisión de selección simple reduce efectivamente la interferencia de otras celdas (OSI) y mejora la relación SINR [32, 33]

CAPÍTULO 3. Consideraciones Para el Diseño de los Sistemas de Antenas Distribuidas

En este capítulo, se describen las tecnologías más utilizadas en los sistemas de antenas distribuidas en la actualidad. El estudio se centra sobre las características, rasgos particulares y tecnologías que benefician la operación y despliegue de los sistemas de antenas distribuidas y se hacen consideraciones prácticas para el diseño.

Estará dedicado principalmente al caso de interiores por ser el más complicado y exigente. Es de gran importancia distribuir la señal proveniente de la celda interior de manera uniforme adentro del edificio con el fin de proveer suficiente cobertura, siendo por lo tanto necesario dividir la señal de la estación base interior a las varias antenas distribuidas adentro del edificio.

Idealmente, estos puntos de antena deben operar aproximadamente al mismo nivel de potencia y tener la misma figura de pérdida/ruido en el enlace ascendente a la estación base de servicio. El hecho de que haya una distribución uniforme de la señal garantizando un buen nivel de cobertura en el edificio se debe a que todas las antenas funcionen en la misma celda, controlada por el mismo ajuste de parámetros.

3.1 Enfoques para el diseño

Hay muchos acercamientos diferentes a cómo se puede diseñar un sistema de antenas distribuidas. Como se mencionó en el capítulo anterior estas pueden ser:

- Distribución pasiva
- Distribución activa
- Soluciones híbridas.
- DAS digital

Cada uno de estos enfoques tienen sus pros y sus contras, todo dependiendo del proyecto en cuestión. Un enfoque de diseño podría ser perfecto para un proyecto, pero una muy mala

elección para el próximo proyecto - todo depende de la construcción, y los requisitos de diseño para el proyecto actual, y las necesidades futuras en el edificio.

3.1.1 Enfoques para el diseño

De modo puramente perceptivo en la planificación de radio ideal se debe seleccionar el sistema que puede dar la mayor potencia de enlace descendente en los puntos de antena y la menor carga de ruido y la pérdida en el enlace ascendente de la estación base, y al mismo tiempo proporcionar una cobertura uniforme y un buen aislamiento a la red macro. Además del requisito de planificación de la radio, otros parámetros como el tiempo y los costos de instalación, la vigilancia y la capacidad de actualización desempeñan un papel importante. En la práctica, los requisitos de servicio y el presupuesto del enlace dictarán la cantidad de pérdida y ruido que puede permitirse y aun así acomodar el nivel de servicio dentro del edificio que se está diseñando.

Es importante que el diseñador de radio conozca los fundamentos de todos los tipos de soluciones de interiores en distribución de cobertura. En muchos proyectos la mejor solución será una combinación de los diversos tipos de hardware de distribución. Una buena planificación de la radio en interiores tiene que ver con tener un grupo de herramientas de diseño bien equipado; mientras más herramientas se dispongan, será más fácil hacer el diseño óptimo para la solución interior. Si solo se conoce la distribución pasiva, hay que conocer las posibilidades y limitaciones de la distribución activa, los repetidores y las celdas. Esto servirá de ayuda a diseñar sistemas de distribución de cobertura de interiores de alto rendimiento que sean a prueba del futuro y que puedan hacer un sólido caso de negocios.

3.2 Intermodulación Pasiva (PIM)

Independientemente de la arquitectura DAS), habrá secciones en las que PIM puede ocurrir en un DAS activo, la Intermodulación Pasiva abreviada PIM es una preocupación en las secciones RF pasivas entre los radios del operador y el extremo de la cabeza DAS, así como en cualquier sección de RF más allá de las unidades de radio remotas. En un DAS puramente pasivo, todo lo que está más allá de la radio del operador es un lugar donde puede ocurrir PIM dañino. El PIM reduce la fiabilidad, capacidad y velocidad de datos de

los sistemas celulares, lo que limita la sensibilidad de recepción. En el pasado, los ingenieros de RF seleccionaban frecuencias de canales que no producirían PIM en las bandas de recepción deseadas. Sin embargo, a medida que crece el uso celular, el espectro licenciado se ha llenado. Los ingenieros han optado como solución a este problema la selección de frecuencias de portadora de RF menos deseables a aceptar posibles problemas de PIM. No obstante esta medida para contrarrestar el efecto del PIM en el sistema DAS se ve imitado por el hecho de que las infraestructuras están envejeciendo, haciendo que el PIM se produzca con más intensidad. Cuando los productos PIM caen dentro de la banda de recepción de una radio celular, hacen que el receptor sea menos sensible a las señales débiles. Esto aumenta la tasa de error de bits (BER) y crea más llamadas perdidas. Si la conexión es para datos, la interferencia de PIM crea más bits de protección de errores y se reenvía, lo que provoca una tasa de datos global más baja[35].

3.2.1 PIM

PIM es una forma de distorsión de intermodulación que se produce en componentes normalmente considerados lineales, como cables, conectores y antenas. Sin embargo, cuando están sujetos a las altas potencias de RF encontradas en los sistemas celulares, estos dispositivos pueden generar señales de intermodulación a -80 dBm o más. PIM se presenta como un par de señales no deseadas que surgen por la mezcla de dos o más señales fuertes de RF en dispositivos no-lineales.

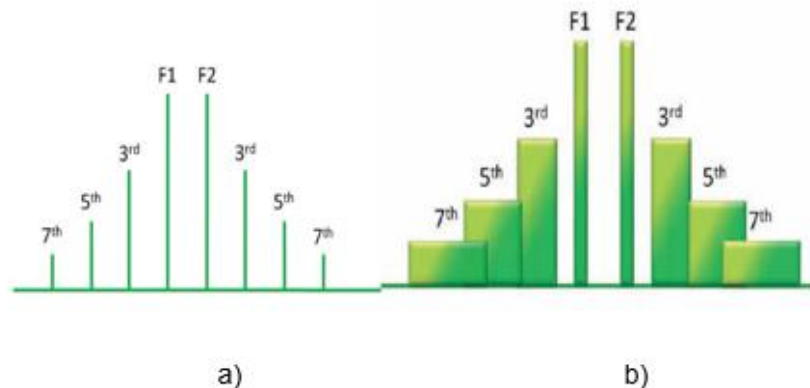


Figura 3.1 a) Portadoras F1 y F2 con productos de 3^o a 7^o orden, b) El ancho de banda PIM aumenta con el orden del producto.

Este par de fórmulas puede predecir frecuencias PIM para dos portadoras:

$$nF1 - mF2 \text{ (Ecuación 1)}$$

$$nF2 - mF1 \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde $F1$ y $F2$ son frecuencias de las portadoras y las constantes n y m son números enteros positivos. Cuando se hace referencia a productos PIM, la suma de $n + m$ se denomina orden de producto, por lo que, si m es 2 y n es 1, el resultado se denomina producto de tercer orden como se observa en la Figura 3.1^a.

Típicamente, el producto de tercer orden es el más fuerte, causando el mayor daño, seguido por los productos de quinto y séptimo orden. Puesto que la amplitud de PIM se hace más baja a medida que aumenta el orden, los productos de orden más alto típicamente no son lo suficientemente fuertes para causar problemas de frecuencia directa, pero normalmente ayudan a elevar el suelo de ruido adyacente como se puede observar en la figura 3.1b

Es poco probable que un producto de tercer orden caiga directamente en una banda de recepción celular diseñada. Es muy probable que la energía de otras transmisiones externas se mezcle dentro de la línea de transmisión no lineal causando muchos niveles más pequeños de PIM para mezclarse una y otra vez, lo que resulta en un piso de ruido elevado de banda ancha que normalmente se extiende a todos los operadores con licencia de espectro. Una vez que este piso de ruido elevado cruza en la banda de Rx, entonces tiene una puerta abierta en el BTS[36].

3.2.2 Soluciones para el PIM

Existen formas de minimizar el impacto de PIM en DAS. Los más recomendables son:

1. Evitar combinaciones de frecuencias que coloquen productos de IM de orden bajo en la banda de Rx. No permitir que se produzcan "malas" combinaciones de frecuencias en el DAS. O sea las combinaciones de frecuencias que producen productos de intermodulación de bajo orden (IM3, IM5 o IM7) en la banda de enlace ascendente de cualquier operador

2. Reducir la potencia Tx del sitio. Al reducirse la potencia del enlace descendente del sitio se reduce la magnitud del PIM producido por la fuente PIM dentro del DAS. Los productos de intermodulación de tercer orden (IM3), pueden reducirse 3 dB por cada 1 dB. Obviamente, se debe tener en cuenta que la reducción de la potencia por lo general significa que se necesitaran muchas más antenas para cubrir la misma área, obligando el uso un sistema DAS activo en lugar de un sistema pasivo DAS para distribuir las señales, que, desde una perspectiva de costos, reducir el poder de enlace descendente puede no ser una solución práctica para evitar PIM.
3. Mejorar la linealidad del sistema. La mejora de la linealidad del sistema como una tercera manera de tratar la interferencia de PIM en un DAS. Se aplica cuando se usan componentes probados en fábrica para PIM, asegurándose de que todos los conectores de RF estén apretados y limpios, la correcta aplicación del par de montaje y ubicándose las antenas lejos de fuentes PIM como tuberías, accesorios de iluminación y ventiladores[37].

Muchos componentes diferentes dentro y cerca de un sistema de antena pueden causar PIM. La suposición común en la industria es que las conexiones de la antena necesitan ser probadas. Claramente, PIM puede ser un problema en los sistemas de antenas celulares siendo necesario hacerse algunas pruebas. Como pauta, los problemas de PIM se presentan con mayor frecuencia en la instalación inicial, después del envejecimiento o al agregar nuevos portadores a sistemas de antenas más antiguos. Las pruebas PIM son la única forma segura de entender cómo un sistema de antena responde a múltiples señales RF de alta potencia. Las pruebas PIM han sido una prueba muy común realizada por casi todos los fabricantes de equipos en los últimos 10 años. No ha sido común probar en el lugar hasta hace poco, idea impulsada por los avances en la tecnología de comunicaciones celulares. Los fabricantes de equipos originales (OEM) como Nokia y Alcatel-Lucent, han utilizado las pruebas PIM durante años, como herramienta de calidad. Todas las empresas que suministran productos que se instalan dentro de una estación base deben cumplir con cifras estrictas de rendimiento relacionadas con el rendimiento de PIM.

Existen en el mercado actual herramientas que se usan para hacer el test del PIM en los sistemas DAS como el PIM Master TM, en donde los técnicos de instalación pueden

verificar el rendimiento del PIM inyectando dos señales de prueba CW en el DAS y midiendo la magnitud del IM3 que se produce. Si IM3 es baja, entonces la linealidad es buena; Si IM3 es alto, la linealidad es mala.[37]

El PIM Master es capaz de realizar las siguientes mediciones que permiten a los técnicos de prueba encontrar y eliminar rápidamente los problemas PIM encontrados en el sitio de la célula:

- PIM versus tiempo
- Distancia a PIM TM (DTP)
- PIM barrido
- Piso de ruido

3.3 Diseño del DAS Pasivo

Por el hecho de que los sistemas de antenas distribuidas pasivas se han utilizado ampliamente en los últimos 15 años muchos planificadores de radio verán esto como la primera opción para el Diseño de cobertura en interiores para sistemas 3G. Sin embargo, es un hecho que, para UMTS y Especialmente para HSPA, los sistemas de antena distribuidos activos a menudo darán el mejor enlace de radio, mejor Rendimiento y tasas de datos más altas.

El principal efecto degradante de los sistemas pasivos son las altas pérdidas, degradación del nivel de potencia en los puntos de antena y el incremento de la figura de ruido en la Estación base en las altas frecuencias utilizadas para UMTS / HSPA. UMTS y HSPA pueden Realizar la transmisión de datos de alta velocidad, pero sólo si la calidad del enlace de radio es suficiente.

Otra gran preocupación con los sistemas de antenas distribuidas pasivas es la falta de supervisión. Si Un cable es desconectado la estación de base no generará ninguna alarma (VSWR), debido a la alta pérdida de retorno a través del sistema de antena distribuida pasiva. Los sistemas distribuidos de antenas interiores se implementan en los edificios más importantes, Sirviendo a los usuarios más importantes, generando ingresos en nuestra red. Requiriendo así de una regular vigilancia ante cualquier problema en el sistema DAS.

Por otro lado, los sistemas pasivos son relativamente fáciles de diseñar, si están instalados correctamente. Se pueden instalar sistemas de distribución pasiva En ambientes realmente duros, locales húmedos y polvorientos, túneles, lugares donde los componentes activos fallarán fácilmente si no están protegidos del ambiente áspero.

Los sistemas de distribución pasivo pueden diseñarse para que funcionen a altas velocidades de datos, incluso para Soluciones HSPA, pero sólo para edificios relativamente pequeños, proyectos en los que se puede diseñar Sistema de distribución pasiva con baja pérdida[38]

Antes de empezar a explorar el diseño de sistemas de antenas distribuidas pasivas es importante que se tenga una buena comprensión de la función y el uso del tipo más común de los componentes más usados en el diseño de un DAS pasivo.

3.4 Componentes Para el Sistema Pasivo

Como se mencionó anteriormente en esta configuración todos los componentes son pasivos, a seguir se describen las características y funcionalidades de tales componentes.

3.4.1 Cable Coaxial

Ampliamente usado en todos los tipos de sistemas de antenas distribuidas en especial en los sistemas pasivos. Por lo tanto, es importante obtener la base correcta con respecto a los tipos de cable y pérdidas como se puede observar en la tabla 3.1 donde se muestran las pérdidas típicas para los tipos comúnmente usados de coaxiales en los sistemas pasivos.

	Frecuencia/perdidas típicas por cada 100m(dB)		
Tipo de cable	900 MHZ	1800 MHZ	2100 MHZ
¼ pulgadas	13	19	20
½ pulgadas	7	10	11
7/8 pulgadas	4	6	6.5
1 ¼ pulgadas	3	4.4	4.6

1 5/8 pulgadas	2.4	3.7	3.8
----------------	-----	-----	-----

Tabla 3.1 Atenuaciones típicas para el cable coaxial

Las pérdidas en los cables coaxiales se puede de manera muy fácil determinarse empleándose la siguiente formula:

Calculando la pérdida longitudinal total de 67 m de coaxial de 1/2 pulgada a 1800 MHz, de acuerdo con la Tabla 3.1

Pérdida total=distancia [38] x Atenuación por metro (1)[38]

Pérdida total= 67 [38] x 0.1 Db/m= 6.7 dB

Es importante tener en cuenta que el costo del cable coaxial no define los gastos de implementación en los sistemas pasivos interior, sino lo define el precio de instalación del cable. Cables con mayor rigidez representan un mayor desafío en un edificio, porque instalar estos cables requiere equipos completos de instaladores por ser más pesados es muy difícil instalarlos sin dividirlos en secciones más cortas.

3.4.2 Divisores (Splitters)

Uno de los componentes pasivos más comúnmente usado en los sistemas de antenas distribuidas son los splitters o divisores de potencia.se usan para dividir una línea coaxial en dos o más líneas y viceversa. Cuando se divide la señal se divide la potencia entre los puertos. Si se divide para dos puertos solo la mitad de potencia insertara perdidas, típicamente d 0.1dB estará disponible en los dos puertos. Por eso es muy importante terminar o cerrar todos los puertos, no dejando ninguno abierto de ser posible terminarlo con una carga ficticia.

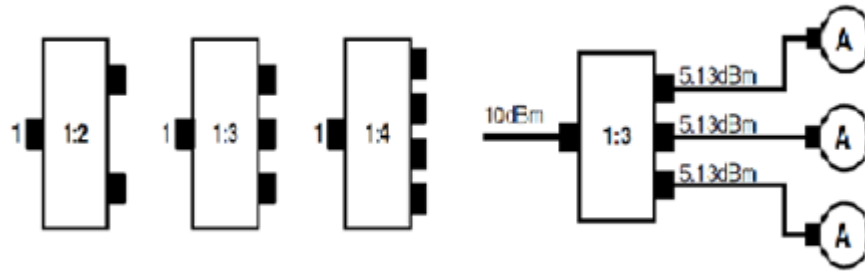


Figura 3.3 Ejemplo de divisores

3.4.3 Derivaciones (Taps)

Es una variante de los splitters comunes, la diferencia radica en que este tipo de splitter no se divide la potencia/señal en la misma cantidad para todos los puertos. Proporciona una gran utilidad en los edificios donde el cable principal instalado es rígido y coge pequeñas porciones de potencia de la antena a lo largo del cable principal, con la ventaja de reducirse la necesidad de instalar cables paralelos, y aun así mantener las pérdidas mínimas. Esta característica de los tap splitters es comúnmente usada en los rascacielos donde un cable rígido vertical es instalado y se quitan pequeñas porciones de potencia para pisos individuales.

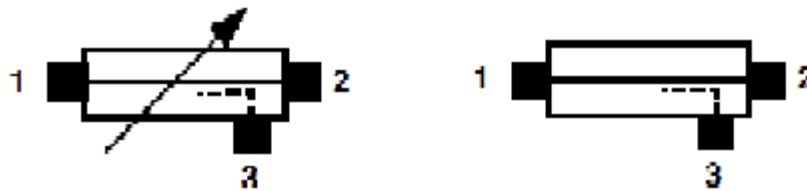


Figura 3.4 Ejemplos de Taps

Se puede ajustar las pérdidas por acople en los tap splitters seleccionando el valor apropiado de modos a compensar la pérdidas, y proporcionar los niveles de cobertura uniforme requerido.

Se pueden encontrar splitters de varios tipos, donde el principio empleado es que haya puertos de bajas pérdidas (1-2), y uno de altas pérdidas (3) donde se cogen pequeñas porciones de potencia de la antena local.

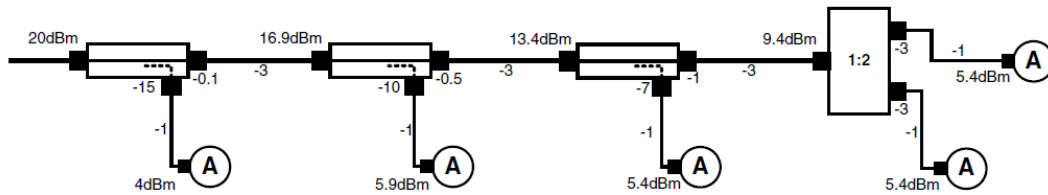


Figura 3.5. Configuración típica de un tapper en un sistema de antenas distribuidas

Tappers estándares se muestran en la siguiente tabla con sus valores de pérdidas correspondientes

Taps comunes y sus pérdidas por acople		
Tipos	Perdidas puerto 1-2	Perdidas puerto 1-3
1/7 Tap	1dB	7 dB
0.5/10	0.5Db	10.5 dB
0.1/15	0.1Db	15.1 dB
variable	0.1 -1.2 dB	6-15 dB

Tabla 3.2 pérdidas comunes a las derivaciones

3.4.4 Atenuadores

Se usan para atenuar la señal con el valor del atenuador, por ejemplo un atenuador de 10dB atenuara la señal con 10dB (puerto 2=puerto 1-atenuacion).se usan con el propósito de reducir altas señales de potencia hasta un rango minino deseado de operación con el final de evitar el overdriving en el amplificador, o para limitar el impacto de la potencia de ruidos en sistemas de antenas distribuidas activos.

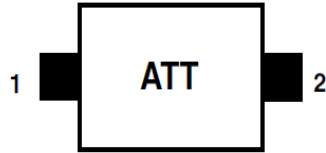


Figura 3.6 atenuador

Normalmente se pueden encontrar atenuadores con los valores típicos de 1,2,3,6,10,12,18,20,30 y 40 dB, cuando combinados se puede lograr el valor deseado, aunque están disponibles también los no variables, sus usos más típicos son para las señales de baja potencia.es importante tener en cuenta que, al atenuarse las señales de alta potencia para muchas portadoras, generalmente para aplicaciones de multi-operador, conviene usar un 'cable absorbente' para evitarse así los problemas de PIM.

3.4.5 Terminaciones

Como se muestra en la figura.se usan como emparejador de cargas en las líneas de transmisión, a menudo un puerto abierto, o puertos en desuso en otros componentes. para las aplicaciones que son sensibles al PIM se recomienda el uso del cable absorbente.

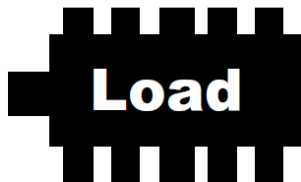


Figura 3.7 cargas o terminadores

3.4.6 Circuladores

Conocido también como splitter'circuladores un componente no-recíproco con la característica de presentar bajas pérdidas por inserción en el sentido de las manecillas del reloj (puertos 1-2, 2-3 and 3-1) típicamente menos de 0.5dB y altas pérdidas por inserción en la dirección contraria a las manecillas del reloj con pérdida mayores de 23dB.

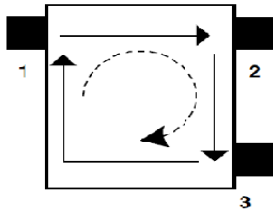


Figura 3.8 Circuladores

Su uso se debe a la necesidad de proteger el puerto del transmisor contra la potencia reversa de reflexión causada por la desconexión de la antena o por el cable el sistema de antenas.

Una de sus aplicaciones más comunes en los sistemas móviles es el poder separar el transmisor y recibir direcciones de un Tx/Rx combinado. Casi siempre es usado en aplicaciones de baja potencia que presentan problemas con el PIM en el circulator. Para aplicaciones de altas potencia se recomienda usar un filtro de cavidad dúplex para separar la señal, o usarse para aislar los transmisores en una red combinada para operadores multi-sistemas.

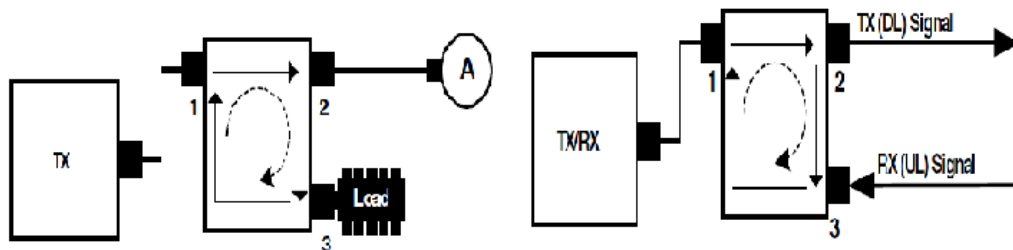


Figura 3.9 Circulador y Aplicaciones

3.4.7 Acopladores de 3dB

Comúnmente usado para combinar señales de dos fuentes diferentes de señales, al mismo tiempo que divide estas dos señales combinadas en los puertos de salidas. Muy útil en el diseño de los sistemas pasivo de antenas distribuidas.

Si se necesitará combinar dos transmitters o dos transceivers se puede usar un acoplador de 3dB. en otro caso si se necesitara combinar dos transmisores y al mismo tiempo distribuir la potencia del sistemas de antenas de distribuidas por medios de varias antenas, se deberá conectar una parte del sistemas DAS al puerto 2, y la otra parte al puerto 3. con eso se

incrementara la potencia en el DAS en un factor de 2 (3dB).es preferible usarse este método, además de representar un incremento en los niveles de señal en 3dB en el edificio, en vez de quemarse lo 3dB en la carga del puerto 3 que solo provocaría calor.

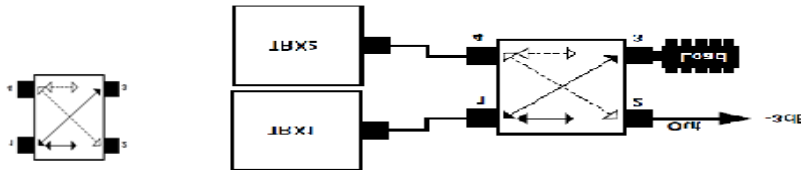


Figura 3.10 acopladores 3dB

3.4.8 Filtros

Se pueden encontrar de dos tipos diferentes el duplexer, y el diplexer o triplexer

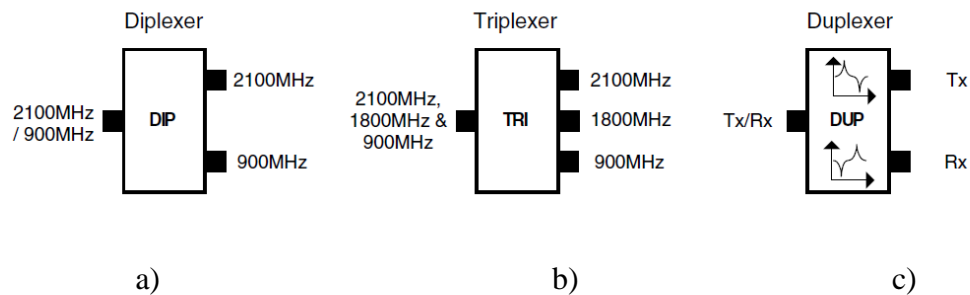


Figura 3.11 Tipo de Filtros a) diplexer b) triplexer c) duplexer

Filtro duplexer

Se usa para separar señales combinadas de TX/RX en líneas de TX y RX por separado. Importante tener presente en mente el aislamiento entre las vendas, bien como las pérdidas por inserción, y las especificaciones del PIM.

Filtro diplexer/triplexer

El diplexer separara o combinara bandas enteras de, o entre sí. Se toma como ejemplo el diplexer de entradas combinadas de 2100 y 1800 MHz, con salidas de bandas separadas de 2100, 1800 MHz. es importante tener en mente el aislamiento entre banda, las pérdidas por inserción y las especificaciones PIM. Una versión que puede separar o combinar hasta 3 bandas también está disponible llamado triplexer

3.4.9 Antenas para interiores

Para ambientes interiores el tamaño y las formas de las antenas son sus limitantes, ya que deben ser lo más discretas posibles. Existen algunos fabricantes que las han diseñado en una variedad de ganancias, patrones de radiación, modelos y tamaños, que van desde antenas omnidireccionales de ganancia unitaria, hasta antenas directivas de una alta ganancia y lóbulo estrecho.

El sugerir una posición para la ubicación de las antenas dependerá de la aplicación que se realizará con el DAS, ya que existen varios criterios para la ubicación de las antenas tanto en interiores como en exteriores. Como ejemplo, se puede citar que cuando se tiene una edificación de tamaño “normal” y de forma “regular”, una antena omnidireccional situada en el centro del sitio puede cubrir toda el área.

Las antenas para interiores, tipo omnidireccionales que se utilizan frecuentemente tienen las características de que son diseñadas para multibanda, con lo cual se abarca un amplio rango de frecuencias a ser cubiertas por una pequeña antena. El patrón de radiación de las antenas omnidireccionales es de 360°. Ahora que se tiene el completo conocimiento del funcionamiento de todos componentes pasivos, se puede empezar el diseño de un sistema de antenas distribuidas pasivo, usado con mucha frecuencia como solución a los problemas de cobertura en interiores, especialmente en edificios pequeños.[39]

3.5 Planeamiento de la Red Pasiva

Es un sistema relativamente fácil de diseñar, con la particularidad principal de calcularse con exactitud la máximas pérdidas que puede presentar cada antena en el sistema, y para hacer el presupuesto acordado para cada área que cubrirá cada antena, se necesita tener en cuenta las limitaciones del edificio y ajustar el diseño del sistemas a estas limitaciones, tener también en mente las restricciones de donde, y como se puede instalar los cables coaxiales rígidos.

A menudo, el planificador de RF elaborara un diseño preliminar basado en los planos de la planta, antes de la inspección inicial del sitio, luego adaptara el diseño para satisfacer los requisitos de la instalación del edificio, en esto consiste el papel del planificador de RF,

limitándose solamente a la planificación de la instalación, no a la planificación de RF, cuando se diseña un DAS pasivo.

Es de extrema importancia saber todas las distancias de los cables y tipos de cables para que se pueda calcular las pérdidas desde las estaciones bases a cada antena individualmente. Por eso se debe hacer una inspección detallada del lugar del edificio, asegurándose que haya rutas por cables a todas las antenas que estén planificadas. La instalación se verá limitada y restringida en cuanto a donde se puede instalar los cables, limitaciones que al final dictarán el diseño del sistema en sí. Como solución se propone un compromiso entre el rendimiento de la radio y la realidad de las restricciones de instalación.

Siendo necesario conocerse la pérdida exacta de sección coaxial en el sistema para verificar el presupuesto del enlace y posicionar las antenas.[40]

Haciendo una parada en lo que ha sido referido como el rendimiento de radio o presupuesto del enlace se dice así al cálculo que se hace en la planificación de RF entre cualquier transmisor y receptor, en la cual el resultado de este cálculo se conoce como la pérdida de trayectoria máxima de la estación base al móvil en el enlace ascendente, y la pérdida máxima permisible del enlace en el sentido inverso. Es necesario incluir todas las atenuaciones y ganancias que sufre el sistema: la atenuación debida a la distancia, la adición de la pérdida del entorno, la atenuación del cable y las ganancias de antena. También se necesitará incluir un margen de seguridad para proporcionar una probabilidad dada de la señal deseada, explicándose los márgenes de desvanecimiento y las pérdidas corporales.

En Dependencia del tipo de sistema de distribución que se pretende diseñar, hay varios parámetros a tenerse en cuenta al calcular el presupuesto del enlace. Sobre la base de estos parámetros para el DAS, el requisito de servicio de radio y el impacto del ruido de fuentes de señal existentes que operan en la misma frecuencia o canal, debe calcularse el presupuesto del enlace para ambos enlaces, el enlace ascendente y el enlace descendente para determinarse el rango de servicio del sistema en ambas direcciones.

En la figura 3.12 se muestra un diseño de DAS pasivo típico, que muestra un pequeño edificio de oficinas. Este diseño se basa en un cable vertical principal de 7/8 pulgadas,

utilizando tajadores en cada piso que conectan la corriente a la horizontal a través de cables coaxiales de 1/2 pulgada a divisores 1:3 en cada piso.

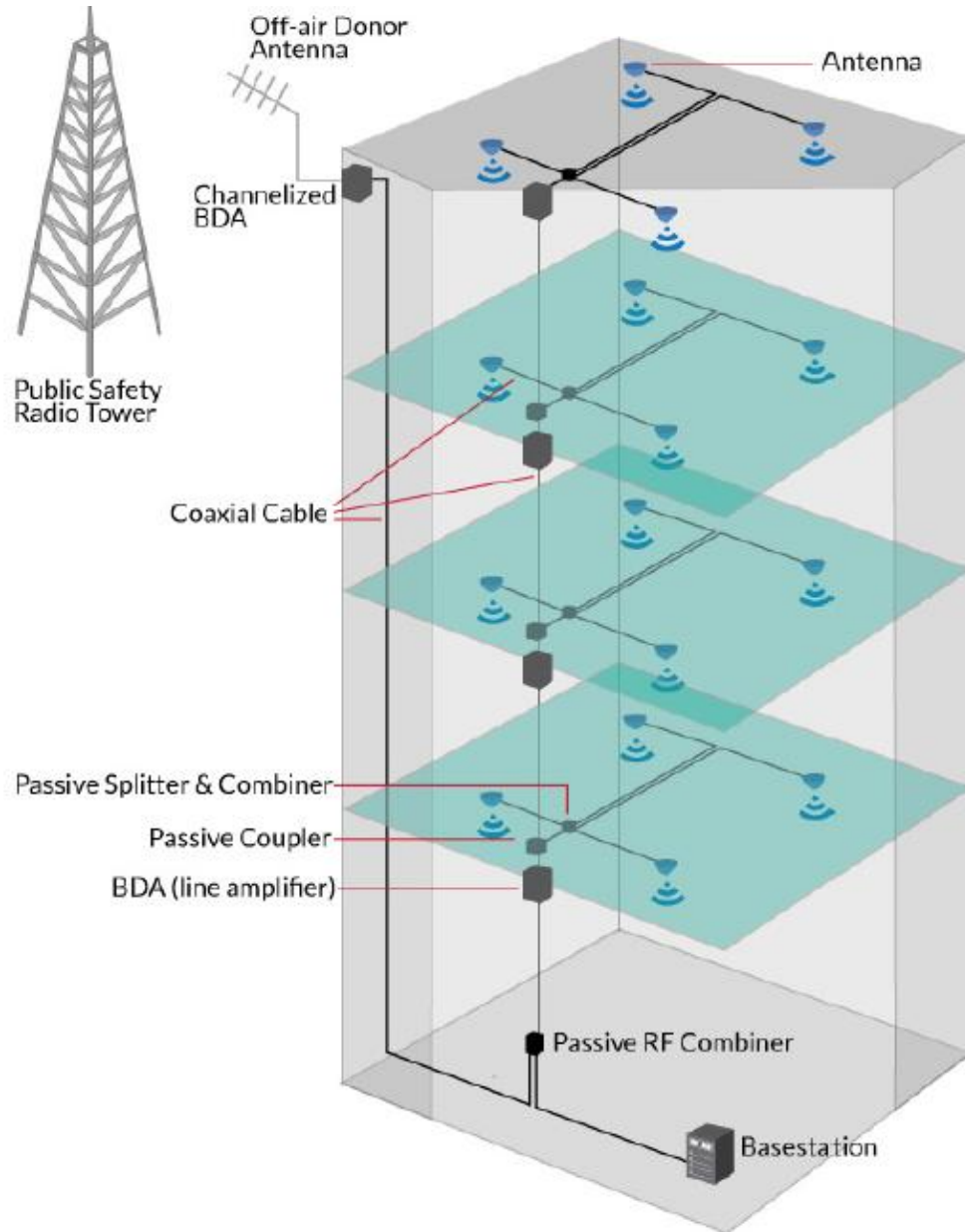


Figura 3.12 Arquitectura Sistema DAS pasivo

3.5.1 MIMO Para Sistemas Pasivos

La clave para un buen desempeño de MIMO es una separación total de los enlaces MIMO a través del DAS, desde las dos antenas hasta la estación base, por lo que no es posible usar

la misma infraestructura pasiva en cualquier punto del DAS ya que podría destruir el aislamiento entre las rutas MIMO en el sistema.

Estudios y cálculos recientes han proporcionado la separación de antena "ideal" de $3-7\lambda$, Esto también se aplica cuando se implementan soluciones MIMO DAS interiores para beneficiarse de la máxima des-correlación entre las rutas MIMO creadas por la dispersión del entorno interior[41].

Como se observa en la Tabla 3.3 se puede concluir fácilmente que las implementaciones prácticas de la separación de antenas físicas para DAS interior se convierten en un problema real sobre todo en las bandas de frecuencias más bajas debido a las longitudes de onda más largas a frecuencias más bajas.

Frecuencia(MHz)	MIMO distancia @ 3λ [m]	MIMO distancia @ 5λ [m]	MIMO distancia @ 7λ [m]
460	1.96	3.26	4.57
700	1.29	2.14	3.00
850	1.06	1.76	2.47
950	0.95	1.58	2.21
1850	0.49	0.81	1.14
2150	0.42	0.70	0.98
2350	0.38	0.64	0.89
2600	0.35	0.58	0.81
3500	0.26	0.43	0.60

Tabla 3.3 MIMO para Sistemas Pasivo

3.6 Presupuesto del Enlace

El DAS pasivo se basa en cables coaxiales y divisores, como ha sido descrito en la secciones previas. La atenuación del DAS degradará UL y DL con la misma pérdida, lo que corresponde a la pérdida de enlace añadida debido a la distancia. El desafío es obtener la información exacta con respecto a la atenuación de cada antena en el sistema. Esto va a depender de la instalación exacta y la ruta del cable. Por lo tanto, se necesita información detallada sobre la instalación real, y esto es inicial antes de instalarse cualquier sistema. Esto puede ser un desafío para el planificador de la radio, haciendo a menudo el diseño

pasivo del DAS más ejercicio de la planificación de la instalación que la planificación de la radio.

- **El cálculo del enlace descendente**

El DAS pasivo atenuará la potencia de la fuente de señal, estación base o repetidor, así que es necesario asegurarse de compensar la potencia en el DL con la pérdida del DAS pasivo al calcular el presupuesto del enlace. Téngase en cuenta que se debe evaluar el presupuesto del enlace DL para todas las antenas del sistema, debido al hecho de que las antenas individuales en el sistema tendrán diferentes pérdidas y, por lo tanto, diferentes niveles de potencia radiada y rangos de servicio. Hay que tener mucho cuidado de no recargar el DAS pasivo especialmente cuando se trabaja con un sistema de múltiples portadores o múltiples operadores. A menudo se olvida cuán alta es la potencia en el DAS pasivo en realidad, especialmente en los componentes cercanos a las estaciones base. Un ejemplo es un sistema con cuatro estaciones base GSM, cada una alimentando 43 dBm a ocho portadoras, un total de 24 portadoras; 43 dBm es 20W, y la potencia compuesta será de 58 dBm, o 630W. Incluso utilizando un buen PIM con especificaciones de 120 dBc, es posible que tenga productos de intermodulación severos[42].

- **El cálculo del enlace ascendente**

La parte del UL en el cálculo del presupuesto de enlace del DAS pasivo es también sencilla; La atenuación del DAS impactará el NF de la estación base. La diferente atenuación desde la estación base a cada antena individual resultará en diferentes rangos de cobertura UL de cada antena, así hay que asegurarse de calcular todas las ubicaciones de la antena.

3.7 Aplicaciones para el DAS Pasivo

El DAS pasivo es el sistema de distribución más utilizado para sistemas de cobertura de interiores para el servicio móvil, pudiéndose utilizar en edificios muy pequeños con una estación base de baja potencia y unas pocas antenas. El principal reto en su uso radica en la instalación de los cables rígidos, dado que los mismos tienen un alto impacto en el costo de instalación, y pueden limitar las posibilidades de instalar antenas, El edificio dictará más o

menos el diseño, debido al desafío de la instalación. El servicio de datos degradado puede ser un problema si la atenuación del sistema es demasiado alta, especialmente en 3G / HSPA. Este problema se puede resolver dividiendo el DAS pasivo en pequeñas secciones o sectores, cada uno de los cuales es atendido por una estación base local. Sin embargo, esto es una solución costosa ya menudo ineficaz en lo que en recursos de capacidad y costos adicionales de backhaul, se refiere, las cargas de interfaz en la red central y las licencias de software para el proveedor de equipos también aumentan el costo de distribución de las estaciones base. El mantenimiento y la solución de problemas son un reto en los sistemas pasivos de DAS. Hay que asegurarse de usar un instalador certificado y no subestimar la importancia del código de instalación y la disciplina apropiada al instalar soluciones coaxiales y conectores[38].

3.8 DAS Activo

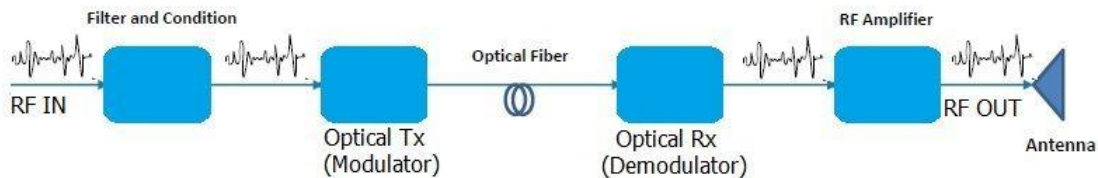


Figura 3.13 configuración analógica del sistema DAS activo

3.8.1 Funcionamiento Del DAS Activo

En el capítulo 2 se realizó una presentación genérica del DAS Activo. En este capítulo se profundizará más en esta arquitectura, sobre todo en lo que concierne a la instalación aspectos de diseño y equipamiento.

En este sistema, la señal de RF analógica se modula a través de la luz y se transmite mediante cable de fibra óptica al otro extremo. En el otro extremo la señal es primero desmodulada y luego amplificada y conectada a antenas para radiación. En la configuración digital del sistema DAS activo, la señal RF analógica se convierte primero en señal digital. Entonces la señal es pasada al transmisor óptico antes de ser transmitida a través del cable óptico al receptor óptico. En el receptor óptico, la señal se convierte nuevamente a forma digital a partir de la forma de luz modulada. La señal desmodulada se pasa a DAC y se convierte de nuevo a forma analógica. Esta señal tiene la misma función de un DAS pasivo

que es la de distribuir la señal a una serie de antenas interiores, y sin embargo posee diferencias bastante peculiares.

El sistema activo de antena distribuida se basa normalmente en cableado fino, fibras ópticas y cables de tipo IT, haciendo que la instalación funcione muy fácilmente en comparación con los cables rígidos utilizados para sistemas pasivos. El sistema de antena distribuida activa consta de varios componentes, y la configuración exacta va a depender del fabricante específico. Todos los sistemas de antenas distribuidas activas compensarán en cierta medida la distancia y la atenuación de los cables.

3.9 Aspectos de Planificación Del DAS Activo

La capacidad de compensar las pérdidas de los cables que interconectan las unidades en un sistema de antena distribuida activa hace que el sistema sea muy fácil y rápido de planificar y fácil de implementar en el edificio. Considerando que, al diseñar un sistema de antena distribuida pasiva, se necesita saber la ruta exacta del cable y la distancia para cada cable para calcular el presupuesto de pérdidas y enlaces, en el diseño de un sistema de antena distribuidos activos no importa si la antena se encuentra a 20 m desde la estación base o incluso 5 km. El rendimiento será el mismo para todas las antenas del sistema; El sistema DAS activo es transparente. Esta "transparencia" se obtiene de forma automática ya que el sistema activo compensará todas las pérdidas de cable mediante el uso de señales de calibración interna y amplificadores. Esto se hace cuando se conectan las unidades y ponen en servicio el sistema. Por lo tanto, el planificador de radio no necesitará realizar una inspección detallada del sitio. No importa dónde estén instalados los cables, y el sistema calibrará cualquier desequilibrio de los cables. Tampoco será necesario que el planificador de radio haga cálculos de presupuesto de enlace para todas las antenas en el edificio; Todas las antenas tendrán la misma figura de ruido y la misma potencia de enlace descendente, proporcionando una cobertura verdaderamente uniforme en todo el edificio. Estos sistemas DAS activos son muy rápidos y fáciles de planificar, implementar y optimizar. Es un hecho que los edificios modernos son muy dinámicos en términos de su uso. Tener un sistema de antena distribuida que puede ser fácilmente actualizado y adaptado a la necesidad del edificio es importante. Es importante para los usuarios del edificio, el dueño del edificio y el operador móvil. El DAS activo puede acomodar esa preocupación, siendo fácil y flexible

adaptarse y actualizarse. No es necesario volver a trabajar todo el diseño e instalación si se realizan cambios y adiciones en el sistema; Siempre hay la misma potencia de la antena, sea cual sea el número o la distancia de las antenas.

Idealmente en un DAS activo no habrá componentes pasivos que no sean compensados por el sistema. Por lo tanto, el DAS activo puede monitorear el rendimiento de extremo a extremo del DAS total y dar alarmas en caso de mal funcionamiento o desconexión de cables y antenas. Estos sistemas DAS activos pueden soportar un operador de banda-uno, o soluciones de multi-operadores grandes.

3.9.1 No hay la necesidad de altas potencias

La filosofía detrás de la arquitectura DAS puramente activa es tener el último amplificador DL y el primer amplificador UL lo más cerca posible de la antena. Co-localizado con la antena estará la unidad remota [38], evitando cualquier degradación innecesaria de cables pasivos coaxiales.

Haciendo uso de esta filosofía, se ubica la RU situada cerca de la antena, no habiendo la necesidad de usarse una potencia de transmisión de enlace descendente excesiva desde la estación base para compensar las pérdidas en cables coaxiales pasivos; Por lo tanto, el sistema puede basarse en la potencia de transmisión de baja a media de la RU, porque toda la potencia de enlace descendente RU será entregada a la antena sin pérdidas.

Mediante el uso de la transmisión a través de fibras ópticas de baja pérdida, un DAS activo típico puede alcanzar Distancias de más de 5 km. El cable entre UE y RU de hasta 250 m hace que este tipo de soluciones sean aplicables en edificios medianos, grandes edificios de oficinas, centros comerciales, hospitales, entornos universitarios y túneles.

3.9.2 Rendimiento de datos en enlace ascendente

El DAS puramente activo tiene grandes ventajas para el rendimiento de los datos del enlace ascendente. Tener el primer enlace ascendente en la RU, sin pérdidas de retorno a la estación base, aumentará el rendimiento de los datos. Esto es muy importante para el rendimiento de datos de alta velocidad, los esquemas de codificación EDGE más altos en GSM, los datos de alta velocidad en UMTS y, en particular, el rendimiento de HSUPA. La diferencia principal entre el DAS pasivo y activo en el rendimiento del enlace ascendente es

que, aunque el DAS activo tenga una determinada cifra de ruido, será mucho menor en comparación con la alta figura del ruido en los sistemas DAS pasivos de alta pérdida.

3.9.3 Ahorro en Costos de instalación y proyecto

El DAS activo normalmente sólo requerirá una potencia de entrada de aproximadamente 10 dBm desde la estación base. No habiendo una necesidad de una instalación grande con alta potencia, de la estación base, además de una fuente de alimentación pesada, aire acondicionado, etc. Se puede utilizar una mini estación base para alimentar el sistema y los componentes del sistema son tan pequeños que se puede evitar una sala, solo para contener los equipos ya que todo se puede instalar simplemente en una caja. Esto proporciona menos consumo de energía debido a la necesidad de menos energía de la estación base sin ventilación, lo que ahorra en los costos operativos, y hace el sistema más libre y más amigable con el CO₂. El tiempo para el despliegue es también corto comparado con el diseño pasivo tradicional. Esto lo hace capaz de reaccionar más rápido a la necesidad de los usuarios en cobertura de interiores, y por lo tanto los ingresos se generarán más rápido, y los usuarios serán más leales.

3.9.4 MIMO Para sistemas Activos

El DAS puro activo, es una opción perfecta para los despliegues HSPA+/ LTE MIMO DAS por varias razones. Un caso meramente ilustrativo de un MIMO DAS se puede observar en la figura 3.20 el mismo soporta dos rutas independientes tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente (2x2 MIMO). El eNode-B se conecta con 2x2 MIMO a la Unidad Maestra, desde la Unidad Maestra a través del sistema mediante la Unidad de Expansión a la Unidad Remota. El sistema se apoya en un conjunto de fibra óptica, cable y unidades. Dentro del sistema, el 2x2 los caminos MIMO se mantienen separados al 100% con un perfecto aislamiento [43].

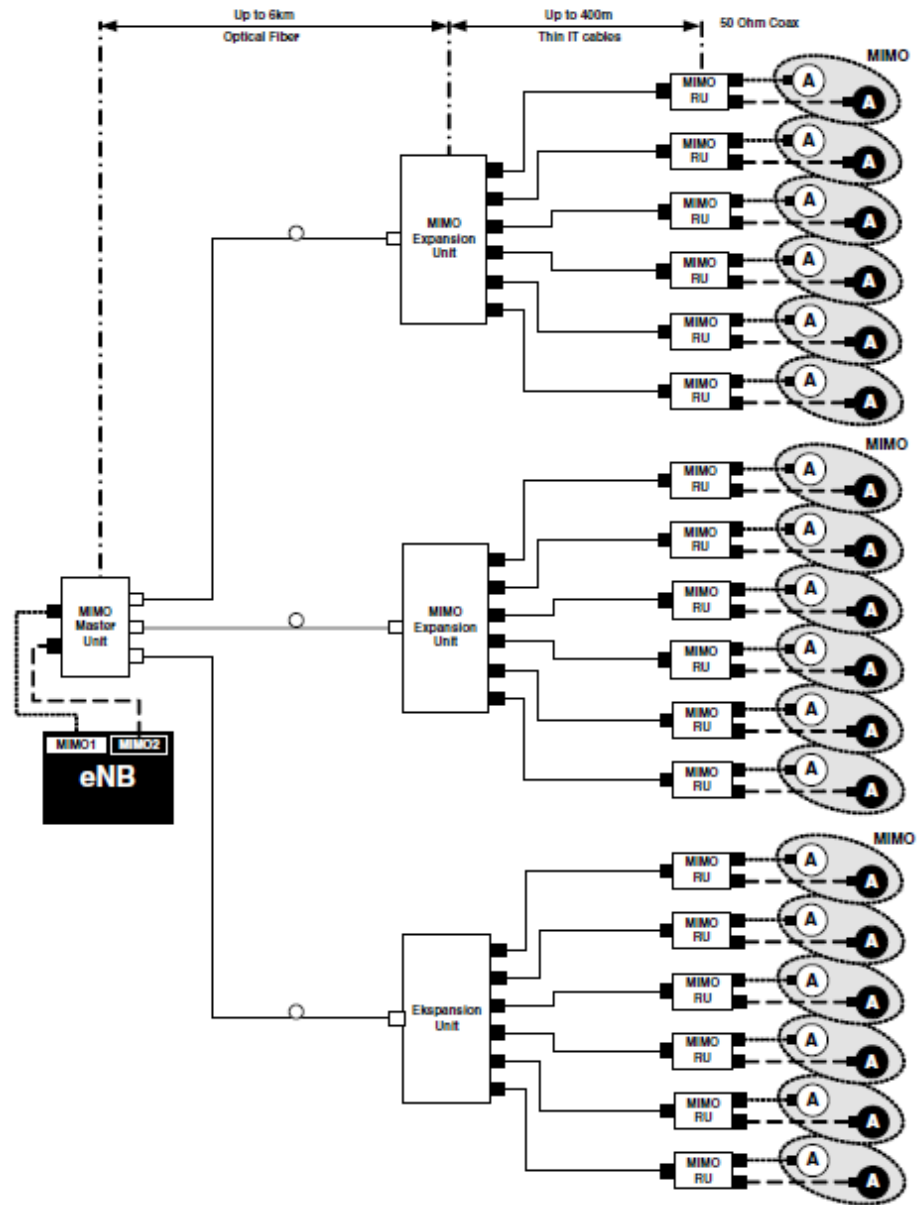


Figura 3.20 DAS Activo con MIMO

3.10 Componentes del DAS Activo

Diffícil sería entender el DAS activo sin primero adueñarse de un conocimiento de lo que lo constituye, con el fin de entender cómo se puede utilizar el DAS activo para la planificación de la cobertura interior.

3.10.1 Unidad Principal (MU)

La unidad principal (MU) se conecta a la estación base de baja potencia o repetidor; El MU distribuye las señales al resto del sistema a través de unidades de expansión (UE). El MU se va a conectar típicamente a la UE mediante fibras ópticas. El MU es el 'cerebro' del sistema y también genera y controla las señales internas de calibración en el sistema junto con amplificadores internos, y los convertidores ajustan las ganancias y los niveles a los diferentes puertos para compensar las variaciones de la pérdida interna del cable entre todas las unidades.

El MU también monitoreará el desempeño del sistema DAS, comunicando datos a todas las unidades del DAS. En el caso de un mal funcionamiento o una advertencia es capaz de enviar una señal de alarma a la estación base que permite al operador identificar exactamente la raíz del problema y resolver el problema rápidamente; El sistema señalará normalmente el cable exacto, la antena o el componente que es la raíz del problema. De esta forma, el tiempo de inactividad del DAS puede ser limitado y el rendimiento del sistema restablecido rápidamente. Es posible ver el estado de todo el sistema y las unidades individuales en el MU, usando LEDs, una pantalla LCD interna o vía una PC conectada, todo depende de la fabricación del sistema. También es posible acceder al MU de forma remota a través de módems o a través de Internet mediante IP y realizar una investigación de estado, una reconfiguración y recuperación de alarmas para facilitar la solución de problemas y soporte.

3.10.2 Unidad de Expansión (UE)

Las UE se distribuyen normalmente en todo el edificio o campus y se colocan en cables eléctricos centrales o salas de conexión. La UE está conectada a la MU utilizando fibras ópticas, normalmente fibras separadas para la UL y la DL. La UE convierte la señal óptica de la MU a una señal eléctrica y la distribuye a la RU. Idealmente, la UE también alimentará la fuente de alimentación de DC a la RU a través del cable de señal existente para evitar la necesidad de una fuente de alimentación local en cada punto de antena.

3.10.3 Instalación de Fibra Óptica

Algunos sistemas pueden utilizar fibra monomodo (SMF) y fibra multimodo (MMF), y algunos sistemas sólo SMF. Es importante tener en cuenta esto al planificar la reutilización

de fibra ya instalada en el edificio, ya que las instalaciones de fibra antigua son normalmente sólo MMF. La instalación de fibras y conectores de fibra requiere educación y disciplina, por lo que se debe asegurar de que el instalador ha sido certificado para este trabajo y consultar siempre las instrucciones de instalación del fabricante del DAS.

3.10.4 Unidades de Radio Remotas (RRU)

La RU se instala cerca de la antena, para mantener las pérdidas pasivas a un mínimo y mejorar el rendimiento del enlace de radio. La RU convierte la señal de la UE en señales de radio en el DL y la señal de radio de los móviles de la UL se convierte y se transmite de nuevo a la UE. Al situar la RU cerca de la antena, conectada solamente con un cable de RF corto, se asegurará el mejor rendimiento de RF y la posibilidad de DAS activo en detectar cuando la antena está desconectada del sistema. El RU debe alimentarse con corriente continua de la UE con el fin de evitar la costosa fuente de alimentación local en cada punto de antena. Además, la RU debe estar diseñada sin ventiladores u otras partes internas ruidosas, para permitir que el sistema se instale en entornos de oficina silenciosos. La RU está conectada a la UE con un coaxial delgado, o cables CAT5 o similares 'cableado delgado', lo que es muy fácil y rápido de instalar en comparación con los cables coaxiales pasivos rígidos utilizados para DAS pasiva.

- **DAS puro activo para edificios pequeños y medianos**

A pesar de que el DAS activo se considera normalmente aplicable para edificios grandes, los edificios pequeños pueden ser diseñados con DAS activo, utilizando los beneficios de tener un DAS de alto rendimiento, con una infraestructura de cableado ligero, una pequeña estación base de baja potencia y vigilancia completa del DAS.

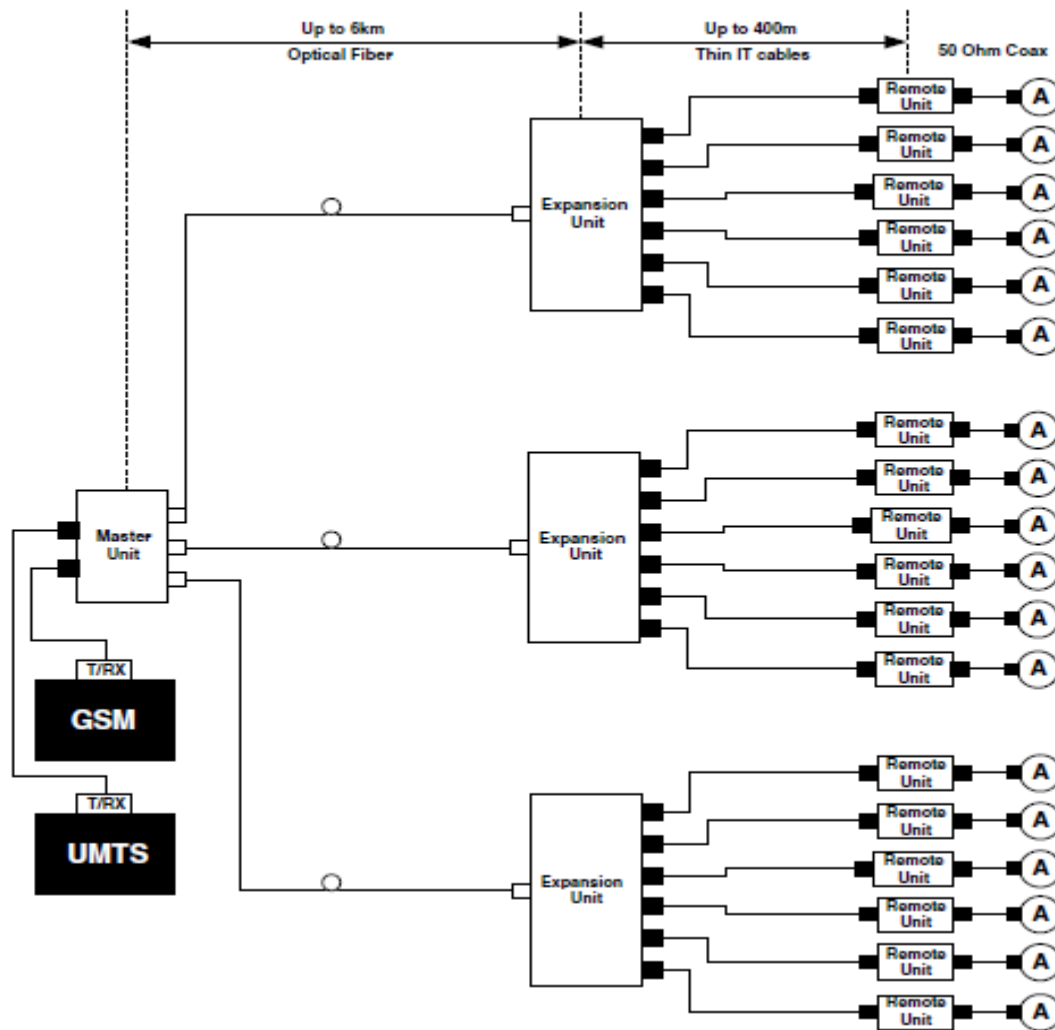


Figura 3.14 DAS Activo

- **Rentabilidad de la Instalación**

Los sistemas activos puros son muy rentables y fáciles de instalar. A menudo, el equipo de TI del edificio específico puede llevar a cabo la instalación para el operador, compartiendo así la carga de costes con el operador. De esta manera, el propietario o usuario del edificio paga la instalación y el operador paga por el equipo y la infraestructura. Esto impulsará el negocio, y creará un cliente más leal, puesto que ahora es una parte del proyecto. Esto también es ventajoso para el rendimiento del sistema, ya que el usuario final puede proporcionar ayuda más detallada con las entradas en cuanto a dónde en el edificio es más importante planificar e implementar una cobertura perfecta, y también en la comprensión

de por qué ciertas áreas tienen una señal más baja. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las unidades en DAS activo no siempre se pueden instalar en entornos difíciles, ya que la humedad, las vibraciones y el polvo pueden causar daños. Por lo tanto, es muy importante verificar las instrucciones del fabricante y las instrucciones de instalación. Muchos sistemas pueden instalarse en ambientes hostiles, si están protegidos dentro de una caja certificada IP apropiada.

3.11 Aplicaciones Para DAS Activo

La versión grande de un DAS activo, como se muestra en la figura 3.14 es una herramienta muy versátil para grandes edificios o campus. La instalación de bajo impacto del DAS activo puro, utilizando y reutilizando un cableado delgado de tipo IT, hace que esta solución sea ideal en edificios corporativos, hoteles y hospitales. La instalación es rápida y fácil, haciendo posible reaccionar rápidamente a las solicitudes de cobertura interior. El concepto de tener la RU cerca de la antena aumenta el rendimiento de los datos en edificios de alto perfil, donde el servicio 3G / HSPA es una necesidad. El DAS activo puro tiene las RUs instaladas cerca de la antena; Esto aumenta el rendimiento de los datos del enlace ascendente. Además hay un efecto secundario: debido a que el sistema calibra las pérdidas del cable, no hay atenuación de la señal de la antena a la estación base. Por lo tanto, el móvil puede funcionar con una potencia de transmisión muy baja, ya que no tiene que compensar ninguna pérdida pasiva de cable a la estación base para alcanzar el nivel objetivo de enlace ascendente que se usa para controlar la potencia. Esto hace que este enfoque sea ideal para instalaciones en hospitales.

La versión pequeña del DAS activo puro que se muestra en la figura 3.15 tiene todas las ventajas de la versión larga Pero no se basa en la instalación de fibra. Esto quita parte de la complejidad del proceso de instalación. El sistema es ideal y rentable para edificios pequeños y medianos. Dado que el sistema puede llegar a más de 200 m desde el MU a la RU, si se instala en el centro de una torre de gran altura podría cubrir un edificio de 300 m de altura sin necesidad de fibra (reservando una distancia para cables horizontales). Los sistemas están totalmente supervisados hasta la antena; Hay una visibilidad completa del desempeño del DAS.

La fiabilidad es una preocupación, debido al número de unidades distribuidas en todo el edificio. Por eso se debe seleccionar un proveedor que pueda documentar la buena fiabilidad y el tiempo medio entre fallas (MTBF). También es necesario asegurarse de que la ubicación de todas las unidades instaladas esté documentada, por lo que se puede acceder a ellos para su mantenimiento. Se debe tener cuidado al instalar este tipo de sistemas en ambientes húmedos, húmedos y polvorientos y protegerlos en consecuencia.

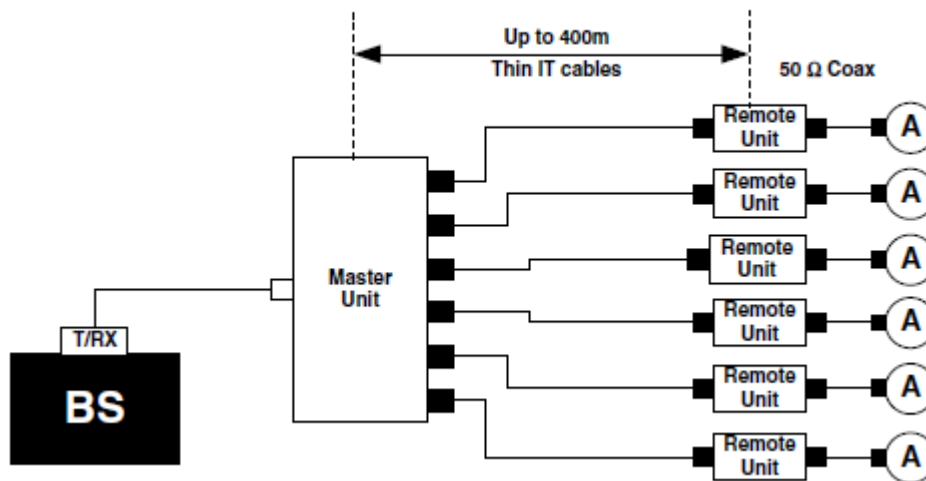


Figura 3.15 DAS para Edificios pequeños

3.11.1 Fibra Activa DAS

La creciente necesidad de más y más ancho de banda sobre el DAS para soportar múltiples servicios de radio, GSM, DCS, UMTS, Wi-Fi, WiMAX, Tetra ha motivado la necesidad de que el sistema DAS de fibra interior soporte un ancho de banda más amplio para acomodar todo el servicio de radio. Aunque es discutible si es factible combinar muchos servicios de radio con diferente requisito del diseño en el mismo DAS, es un hecho que es una ventaja de la instalación tener solamente un sistema y un sistema de antenas.

El compromiso será a menudo el rendimiento en uno o más de los servicios, y un costoso DAS. Si todos los servicios requieren "cobertura" completa en interiores, la consecuencia es que tendrá que diseñarse de acuerdo con el dominador más bajo.

3.11.2 Rendimiento de Radio para DAS Activo

Un DAS activo será típicamente "transparente", por lo que la señal de enlace descendente que es alimentada en el DAS se obtendrá fuera de las antenas. Esto hace que el DAS activo

sea muy fácil de diseñar e implementar ya que no hay que preocuparse por las distancias y pérdidas de cables. Sin embargo, hay otras cosas que se necesita poner atención al calcular el presupuesto del enlace para un DAS activo.

Calculo del enlace descendente.

- La limitación de la potencia de enlace descendente en un DAS activo es por lo general las capacidades de potencia compuestas del amplificador de DL en la unidad remota. La RU se encuentra cerca de la antena y tendrá un amplificador que comparte todo el espectro soportado por el DAS. Para DAS multi-banda, típicamente se tienen amplificadores dedicados para cada banda soportada. Por lo general, tendría un nivel de potencia en una portadora de, por ejemplo, 15 dBm, y luego cada vez que se doblase el número de portadoras se retrocedería alrededor de 3-3,5 dB para no sobre marchar el sistema y causar distorsión.

- **Rendimiento de datos en el enlace ascendente**

El hecho básico es que la parte pasiva de la solución híbrida entre la antena y la unidad remota híbrida de los Sistemas de Antena Distribuida (HRU) degradará el rendimiento de los datos en el UL y DL del lado de la antena, aunque el típico DAS híbrido produce niveles de potencia medianos a altos, fuera de la HRU, la potencia en los puntos de antena será típicamente significativamente menor. La razón de esto es que la potencia es atenuada por el DAS pasivo entre la HRU y la antena, pero si solo operan unas pocas antenas y mantienen las pérdidas bajas, se puede obtener una potencia radiada relativamente alta de las antenas.

- **Supervisión de Antenas**

El DAS pequeño pasivo después de la HRU dará una pérdida de retorno alta a la HRU; Por lo tanto, a menudo es un problema para la HRU ser capaz de detectar cualquier problema VSWR debido a la atenuación de la reflexión de una antena desconectada. Esto en la práctica, hace que la supervisión de la antena no exista

- **Desafíos de la instalación**

Para que el HRU proporcione altos niveles de potencia de salida, el consumo de energía de HRU debe ser bastante alto. Por lo tanto, normalmente necesitará conectar una fuente de alimentación local al HRU; Alternativamente usted puede utilizar un cable híbrido especial del MU al HRU que contiene los alambres de la

fibra y del cobre que alimentan la energía del DC al HRU. La necesidad de usar una fuente de alimentación local para cada HRU agregará costo y complejidad al sistema, y más puntos de falla. Lo más probable es que no se permita usar cualquier grupo de energía local, pero se pide que instalen un nuevo grupo de energía para todas las HRU en el DAS. Por lo tanto, a menudo se prefiere usar el tipo DAS híbrido con cables de fibra compuestos que también alojan alambres de cobre para el suministro de energía de la HRU; Sin embargo, podría haber una preocupación en las instalaciones del campus donde se necesita para asegurarse de que hay aislamiento galvánico entre los edificios. Por lo tanto, los cables de cobre podrán no ser instalados entre los edificios debido a problemas de conexión a tierra. Si no se tiene en cuenta esto, podría dañar severamente el DAS y los edificios, y en el peor de los casos iniciar un incendio. Debido al alto consumo de energía, la HRU normalmente tiene enfriamiento activo ya menudo un ventilador para ayudar con la ventilación. Esto podría limitar las posibilidades de instalación debido al ruido acústico, que a menudo se limita al elevador de cables vertical.

3.12 DAS Híbrido

Es importante distinguir entre el DAS activo puro que ha sido descrito en los epígrafes anteriores, y las soluciones DAS híbridas. Como el mismo nombre indica, un DAS 'híbrido' es una mezcla de un DAS activo y un DAS pasivo.

La parte pasiva del DAS híbrido, al igual que para el DAS puro pasivo, limita las posibilidades de instalación, impacta el rendimiento de los datos en 3G / HSPA y determina en alguna medida el diseño, debido a las limitaciones de instalación.

3.12.1 Elementos del DAS activo Híbrido

Unidad principal

- El MU se conecta a la estación base de baja potencia o repetidor, y distribuye las señales a las HRU del sistema. Típicamente el MU está conectado a la HRU usando fibras ópticas. El MU es el elemento de control, el 'cerebro' del sistema y también genera y controla las señales de calibración interna en el sistema, y luego ajusta los niveles de ganancia y calibración a los diferentes puertos para compensar la pérdida

de cable interna entre el MU y HRU. Sin embargo, el sistema no puede incluir el DAS pasivo después de la HRU; Esta parte todavía se basa en el cálculo manual y la calibración. El MU también monitoreará el desempeño de la parte activa del sistema DAS y, en caso de un mal funcionamiento, podrá enviar una señal de alarma a la estación base para que el operador pueda resolver el problema rápidamente. El sistema no será capaz de detectar ningún problema en el DAS pasivo, ya que normalmente no habrá vigilancia de antena. Es posible ver el estado de la parte activa del sistema en el MU, en los LEDs, en una pantalla LCD interna o a través de un PC conectado. A menudo será posible acceder al MU de forma remota a través del módem o de Internet mediante IP, realizar una investigación de estado o reconfiguración y recuperar alarmas para facilitar la solución de problemas y el soporte remoto.

- **Unidad remota híbrida**

La HRU está instalada en todo el edificio. Convierte la señal óptica de la MU de nuevo a RF normal, y la señal RF UL de los móviles se convierte y se transmite a la MU. La HRU normalmente necesitará operar con potencia de RF de media a alta salida, con el fin de compensar las pérdidas en el DAS pasivo que alimentan las señales a las antenas distribuidas conectadas a la HRU.

3.12.2 Aplicaciones para DAS Híbrido

Las soluciones DAS híbridas son soluciones ideales donde se necesita una alta potencia de salida en la unidad remota. Podría ser también arenas deportivas y sistemas multi-operadores donde la potencia de RF compuesta de la unidad remota debe ser compartida por muchos canales. Sin embargo, debe tener cuidado con la alta potencia de salida, y asegúrese de que el enlace ascendente puede rastrear el área de cobertura del enlace descendente, o bien el DAS estará fuera de balance. El alto costo relativo del sistema DAS híbrido normalmente lo hace aplicable sólo para estructuras grandes con alto tráfico y base de ingresos altos.

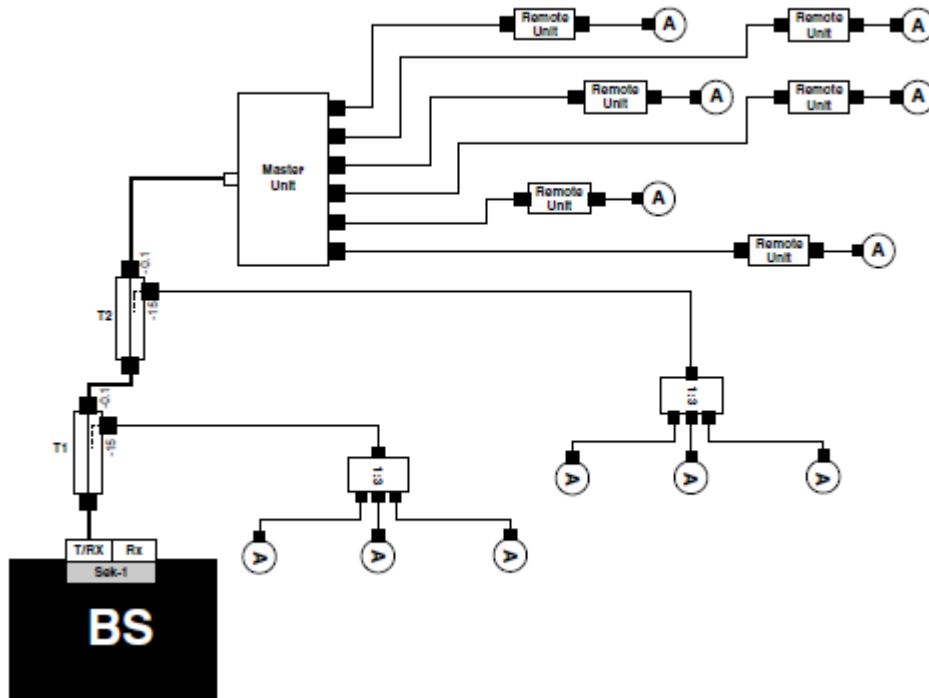


Figura 3.17 DAS Híbrido

3.12.3 Otras Soluciones para DAS Híbrido

A menudo, la solución más ideal para un proyecto de interior sería combinar las mejores partes de la pasiva y la mejor parte del diseño activo del DAS (Figura 3.15). El DAS pasivo es rentable en los sótanos, fácil de instalar en las bandejas de cables abiertas, disponibles en los sótanos y áreas de estacionamiento. Tiene el borde en funcionamiento en distancias más largas, y es más fácil instalar en las partes más desafiantes del edificio. En el típico proyecto de interior, casi siempre la sala de equipos asignada para la estación base se encuentra en el sótano. Por lo que es natural cubrir las áreas cercanas a la estación base, las áreas de estacionamiento, el sótano, usando un DAS pasivo con pocas antenas.

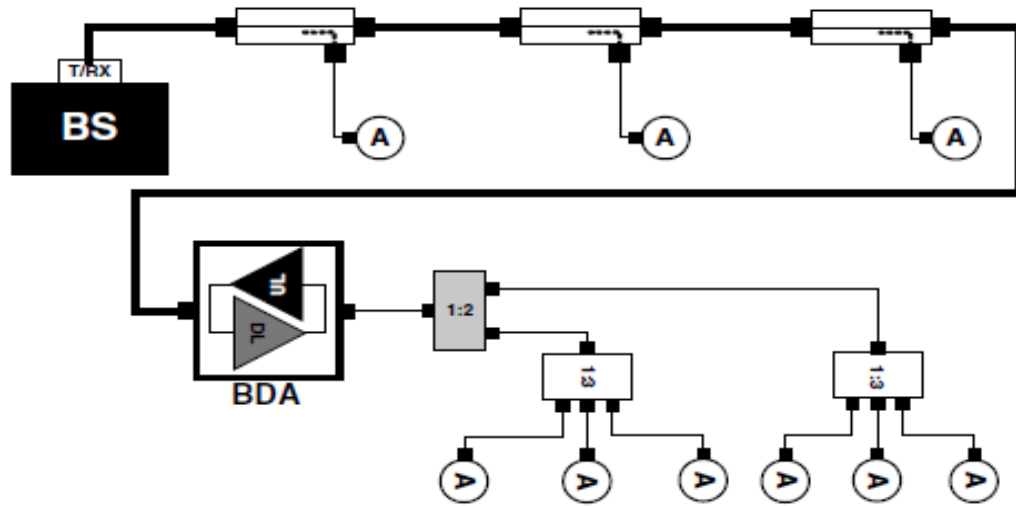


Figura 3.18 DAS Híbrido en interior

En las áreas alejadas de la sala de equipos, los pisos de la oficina en la parte más alta del edificio, la alta pérdida en un DAS pasivo puede degradar el rendimiento. Además, el desafío de la instalación con los cables pasivos pesados rígidos podría constituir un problema, y demasiado caro. Por lo que se recomienda como opción natural utilizar el DAS pasivo cerca de la estación base, y el DAS activo en las áreas más desafiantes. Hay que tener en mente el problema que surge al combinar DAS activo con un DAS pasivo, como se muestra en la Figura 3.15 que es la potencia de ruido que el DAS activo inyectará en el sistema pasivo (estación base). En un escenario donde el enlace ascendente en la parte pasiva del DAS es el factor limitante, el aumento de ruido causado por el DAS activo podría degradar la cobertura de enlace ascendente en la parte pasiva del DAS. Sin embargo, este problema se resuelve eligiendo cuidadosamente el valor correcto de atenuación de UL, en el eje principal del sistema activo.

3.12.4 DAS Híbrido y MIMO

Se trataron las funciones básicas del DAS híbrido, es decir, un sistema de antena distribuida que es una mezcla de un DAS activo (con unidades remotas de alta potencia) que alimenta un DAS pasivo. También se puede usar un DAS híbrido para soportar MIMO, como se ilustra en la Figura 3.21. Siendo un DAS híbrido tiene todas las desventajas del DAS pasivo y todas las ventajas del DAS activo; Las dos rutas MIMO (2 x 2) se alimentan de la unidad maestra, separadas y transmitidas a través de la fibra óptica a la unidad remota híbrida de

alta potencia. Después de la unidad remota conectamos dos DAS pasivas paralelas que distribuyen las señales dentro del edificio. Como se describió anteriormente, es importante emplear un diseño simétrico y la implementación del sistema pasivo para no introducir ningún sesgo en el tiempo de los dos caminos.

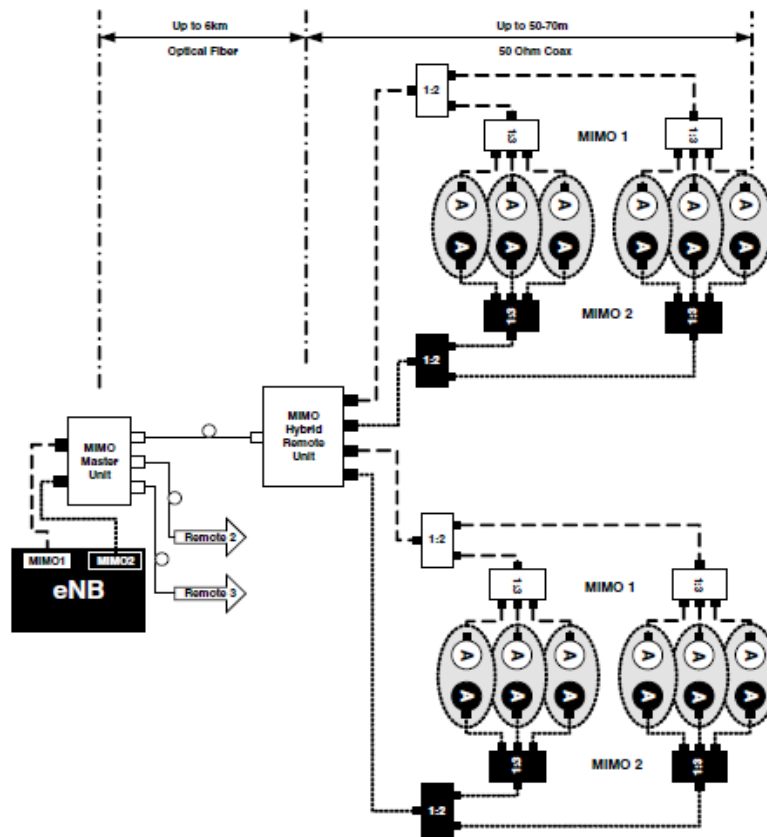


Figura 3.21 DAS Híbrido y MIMO

3.13 DAS Digital

En años atrás la interconexión de una unidad host de sistema de antena distribuida (DAS) con estaciones base portadoras ha sido innecesariamente compleja debido a la necesidad de utilizar la radiofrecuencia (RF) como método de interfaz como se observa en la figura 3.19, pero el desarrollo de interfaz CPRI supone una mejora significativa en las implementaciones de DAS.

La Iniciativa de Interfaz de Radio Pública Común (CPRI) se formó en junio de 2003 en respuesta directa a la llamada de la industria a la estandarización. En conjunto con Ericsson, Huawei, NEC, Nortel Networks y Siemens, que en conjunto representan más del 50 por ciento del mercado de estaciones base, su objetivo era definir una especificación disponible públicamente para la interfaz radioeléctrica entre los bloques de control RF y de banda base.

En septiembre de 2003, por la Iniciativa del CPRI se introdujo la especificación del CPRI, que se centra en un diseño de estación base 3G que divide la estación base de radio en equipos de radio (RE) y controladores de equipos de radio (REC). Proporcionando una nueva interfaz estandarizada para el punto de interconexión dentro de la estación base

DAS ofrece una gran flexibilidad al soportar múltiples portadoras sobre un solo sistema a lugares o áreas al aire libre. La conexión CPRI permite que la interfaz de la unidad de banda base (BBU) con el DAS sea un enlace óptico digital directo. Esto elimina la necesidad de procesamiento de RF adicional, casi siempre a través de RRH de alta potencia y equipos de acondicionamiento de RF conocidos como punto de interfaz (POI)[44]. La eliminación de este equipo simplifica el diseño de la red y proporciona los beneficios de una única solución de entrega inalámbrica para tratar múltiples bandas, múltiples protocolos y / o múltiples operadores además de una solución única para las tecnologías 2G, 3G y 4G... Más importante aún, el uso de la especificación CPRI reduce el costo de la infraestructura de la estación base, así como los gastos de operación asociados. La tarjeta de interfaz CPRI elimina el procesamiento y el acondicionamiento de RF antes del DAS, que es una fuente importante de degradación de la magnitud del vector de error (EVM) y elimina la introducción de la intermodulación pasiva (PIM). La tarjeta CPRI permite una señal de banda base nativa digital de la BBU a la unidad host DAS, eliminando el ruido de las fuentes de RF analógicas.

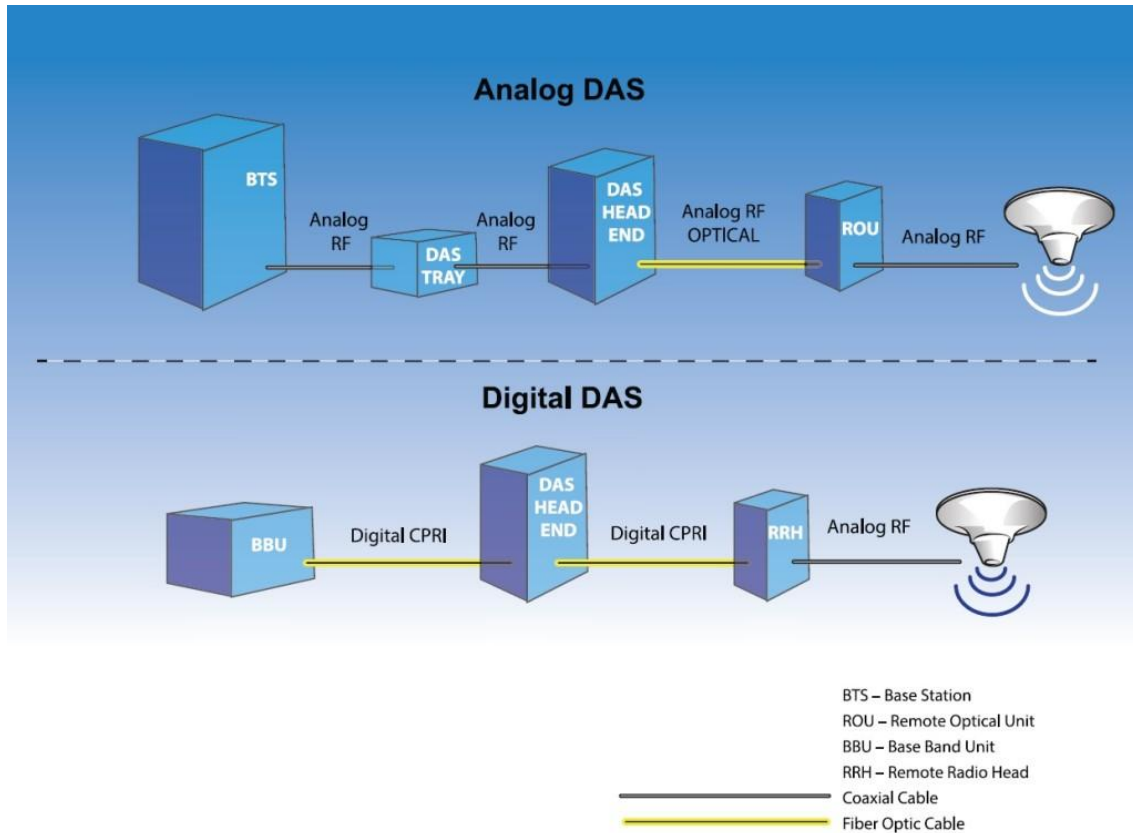


Figura 3.19 Digital DAS e interface CPRI

3.13.1 Fundamentos de la interface CPRI

La especificación CPRI es un estándar de serie I/Q digital abierto que ofrece velocidades de bits de línea de hasta 2457,6 Mbps entre el RE y el REC de una estación base de radio. Incluye información sobre transporte, conectividad y control, incluyendo datos de plano de usuario, control y gestión (C & M), mecanismos de transporte plano y medios para la sincronización. CPRI soporta dos tipos de canales C & M, rápidos y lentos. El canal rápido se basa en Ethernet, mientras que el lento se basa en el protocolo de control de enlace de

datos de alto nivel (HDLC).

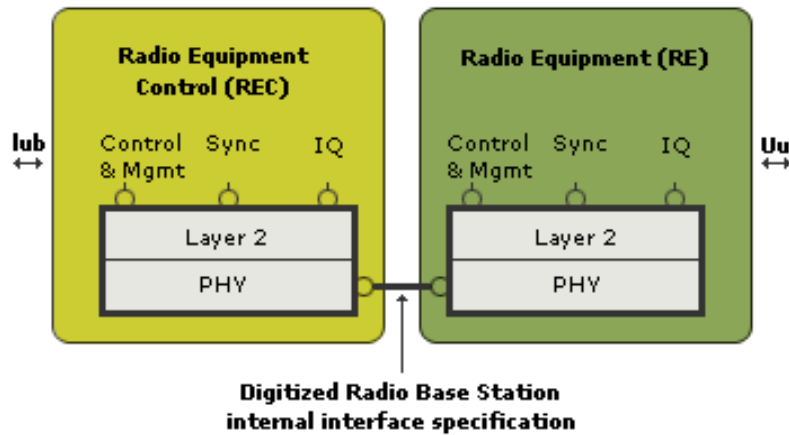


Figura 3.19 especificación para el CPRI

La especificación cubre capas 1 y 2 de la pila Open System Interconnect (OSI) como se observa en la figura 3.19. La capa 1 soporta tanto una interfaz eléctrica, utilizada en estaciones bases tradicionales, como una interfaz óptica para estaciones base con equipos de radio remotos. Todos los datos, como los protocolos HDLC de C & M plano, L1, datos específicos del proveedor y datos del plano de usuario, se multiplexan en tiempo juntos y se transmiten o reciben a través de una de estas interfaces. La capa 2 admite flexibilidad y escalabilidad.

CPRI permite tres opciones de tasa de bits de línea. Es obligatorio que REC y RE soporten al menos una de estas opciones, que incluyen: 614.4, 1228.8 y 2457.6 Mbps. CPRI no tiene un protocolo obligatorio de capa física. Sin embargo, el protocolo utilizado debe cumplir con la especificación de tasa de error de bits (BER), así como la estabilidad del reloj y el requisito de ruido. La especificación CPRI complementa las actividades actuales en los organismos formales de normalización existentes, como el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) y 3GPP2. Las versiones 1.3 y 2.0 de la especificación CPRI ya están disponibles para su descarga en www.cpri.info. La versión 2.0 es similar a la versión 1.3 pero contiene soporte para redes. El desarrollo de la especificación CPRI crea una necesidad de pruebas sistemáticas para asegurar que los módulos CPRI son intercambiables y conformes a la especificación. Al mismo tiempo, los

requisitos estrictos para el rendimiento del BER, la caracterización del tiempo y la calidad de la modulación están impulsando la necesidad de equipos de prueba de alto rendimiento. A medida que el plano digital se acerca a la antena, también se produce un cambio inherente en la forma en que se realiza la prueba, creando una necesidad de mediciones RF a banda base y / o banda base a RF usando diferentes tipos de dispositivos de prueba[45].

3.14 Consideraciones Para el Diseño de una Red DAS

Antes de empezar el diseño del DAS se recomienda desarrollar un esquema de trabajo bien estructurado, procedimiento este que incluirá todos los aspectos del proceso desde el principio hasta el final.

El proceso comienza con los requisitos del cliente potencial, preferiblemente en una etapa temprana, antes de que el cliente empiece a usar móviles a una escala más amplia. El equipo de ventas a continuación, proporciona una aplicación para obtener la aprobación para implementar una solución dedicada. Debe haber un objetivo de ingresos claramente definido.

La solicitud debe consistir en:

- Número de usuarios.
- Tipos de usuarios
- Tipos de requisitos de servicio, velocidades de datos necesarios.
- Duración del contrato.
- Documentación del edificio
- Planos de planta.
- Marcas en planta que muestren la cobertura necesaria en los diferentes grados y áreas:
 - 1- 100% de cobertura;
 - 2- 90% de cobertura;

Además:

- Áreas donde es "agradable tener" la cobertura.

-
- Marcas en la planta mostrando diferentes tipos de ambiente: áreas densas con muros pesados;
 - Obras abiertas;
 - Cuartos de almacenamiento
 - Fotos del edificio (a menudo se pueden encontrar fotografías en la página web de la empresa)
 - Detalles y dibujos de reconstrucciones o ampliaciones planeadas de los edificios

Los planos de piso son la base del diseño. A menudo puede ser difícil obtener planos de planta utilizables, pero en la mayoría de los países es obligatorio tener algún tipo de plan de sitio en formato A3 ubicado en la central de alarma de incendios, para que los bomberos puedan encontrar su camino alrededor de los edificios. Estos planes a menudo proporcionan una base excelente para la planificación y se pueden utilizar para:

- Documentación de diseño.
- Documentación de la instalación
- La parte de planificación de RF del proceso.

El planificador de RF utiliza la entrada de las ventas para hacer un diseño de borrador. A menudo este proyecto de diseño puede ser hecho por un planificador de radio experimentado sin hacer una visita al sitio. Esto dependerá de la calidad y detalle de la entrada, el tamaño de la solución y la experiencia del planificador RF[46].

El planificador RF proporciona la siguiente salida:

- Planos de planta con colocación sugerida de antenas y equipos
- Diagrama del DAS
- Lista de equipo
- Costos estimados de implementación.
- Tiempo de proyecto estimado

3.14.1 La encuesta Del Sitio

Antes de la encuesta de sitio, el planificador de RF ha hecho un proyecto de diseño, utilizando una herramienta de presupuesto de enlace, simulación de propagación RF. Para hacer el diseño final, el planificador de RF debe utilizar el diseño de borrador como base para una encuesta de sitio, y ajustar el proyecto de diseño de acuerdo con los resultados de la encuesta de sitio.

3.14.2 Diseño de solución Óptima

Importante tener en mente que la solución óptima en diseños DAS sólo existe en teoría. Es la tarea principal del planificador RF interno y del equipo Implementar las soluciones de interior para hacer un compromiso adecuado entre cumplir los objetivos de diseño, asegurar el sistema para el futuro y diseñar e implementar el sistema para maximizar el caso de negocio.

3.14.3 Curso De Acción

- Mantenga las cosas simples
- Usar sólo la colocación visible de antena
- Ocultar las antenas por encima del techo suspendido es algo que debe evitarse a toda costa por la impredecibilidad. No se sabe lo que está oculto por encima de los azulejos del techo: rociadores de incendios, conductos de ventilación, sistemas de calefacción, cableado eléctrico. Lo peor de todo es que no hay ningún control posterior a la instalación de objetos cerca de la antena después de que se haya completado la instalación del sistema interior. Además, no tiene control de las propiedades de RF de los azulejos de techo.
- Las antenas deben ser visible para los móviles. Después de todo, la cobertura móvil es una parte crucial de la infraestructura de servicios públicos de edificios.
- Utilizar sólo componentes certificados de calidad. Una vez más, la importancia del rendimiento de los componentes "simples" de RF es a menudo subestimada. Es normal centrarse en el rendimiento de los componentes más complejos en el sistema de antena interior, la estación base, el repetidor, el sistema de distribución activo. Sin embargo, la calidad de los componentes pasivos más simples - antenas,

divisores, cierres, conectores y puentes -puede tener un impacto degradante importante en el rendimiento del servicio RF si estos componentes no cumplen con las especificaciones.

- Utilizar sólo antenas de alta calidad.
- Use sólo instaladores educados
- La habilidad necesaria para instalar sistemas RF es a menudo subestimada. Se debe utilizar sólo instaladores educados que estén certificados para trabajar con componentes y cables de RF. Los fabricantes de conectores coaxiales recomiendan un par específico para apretar el conector para asegurar el rendimiento[47].

3.14.4 Errores comunes que deben evitarse en la fase del diseño

- Cobertura sólo en enlace descendente.

Es un hecho que los sistemas de interior 2G son en su mayoría de enlace descendente, por lo que la mayoría se centra en el enlace descendente. Sin embargo, es importante no olvidar la parte del enlace ascendente del diseño, especialmente en 3G / 4G, dependiendo del perfil de servicio del tráfico en la célula. Recuerde que el Link Budget Consiste en un análisis tanto del enlace descendente como del enlace ascendente.

- Subestimar la Intermodulación Pasiva.

No subestimar los posibles problemas de intermodulación pasiva (PIM). Especialmente con alta potencia (potencia) pasiva DAS con muchos canales de radio en servicio, la concentración de potencia en los cables, conectores, divisores, tomadores y antenas cerca de las estaciones base puede ser alta. Si utiliza componentes de bajo costo y baja calidad, el impacto de la intermodulación puede ser alto.

- No contabilizar la pérdida coaxial. Muchos buenos diseños DAS internos han sido arruinados por la realidad de la instalación, a menudo debido a la subestimación de la longitud de corte del cable coaxial, y subestimando así las pérdidas pasivas en el sistema. Las pérdidas pasivas en el DAS tienen un gran impacto en el rendimiento del enlace ascendente y descendente del sistema. Es muy importante utilizar

distancias realistas en la parte de cable del sistema pasivo, para poder calcular correctamente el presupuesto del enlace. Se recomienda tener un margen de seguridad en las pérdidas coaxiales, añadiendo un 10% a la longitud de los cables individuales. Este problema es cada vez mayor, ya que las frecuencias utilizadas para los servicios móviles son cada vez mayores.

- Subestimar los Costos del Sistema Instalado. Una parte importante del costo de un sistema de cobertura en interiores son los costos de instalación, especialmente cuando se instala un sistema pasivo con cables rígidos pesados, que requieren mucho tiempo y mano de obra para instalar. Para estimar el coste del DAS al diseñar sistemas pasivos es muy importante que conozca el reto exacto de la instalación, las rutas por cable durante la evaluación inicial del proyecto. Si no lo hace, el costo del proyecto es imposible de estimar. Esto significara que el planificador RF necesitara "caminar por el edificio" antes de que pueda hacer el cálculo de costos, y es tanto la planificación de la instalación como la planificación de la radio.
- Planificación de las ubicaciones de la antena. Una vez que se ha calculado el presupuesto del enlace se puede establecer cuál es el enlace limitador, el enlace ascendente (desde el móvil a la estación base) o el enlace descendente (desde la estación base al móvil). Para sistemas multicapa, es decir, sistemas en los que varios servicios de radio comparten la misma instalación de antena, esto podría ser 2G y 3G en el mismo DAS, Puede haber alguna diferencia en el rango de servicio de los dos sistemas, utilizando la misma cobertura coherente en toda la zona, la distancia entre antenas debe ser inferior al doble del radio de servicio; Después de todo, la huella de la antena omnidireccional ideal es circular, no cuadrada. En edificios reales, las antenas normalmente sirven a muchos tipos de Áreas: Espacios de oficina abiertos, áreas de oficinas densas, áreas densas (escaleras), áreas densas y densas (pozos de ascensor). Por lo tanto, se debe adaptar las ubicaciones de la antena a estos entornos específicos al aplicar los rangos de servicio del presupuesto del enlace, desde las antenas hasta la realidad del edificio. El planificador RF usará los cálculos del presupuesto del enlace. Las antenas deben colocarse de manera que se obtenga la máxima huella para cada antena. Las ubicaciones de las antenas deben

adaptarse a la realidad del edificio, teniendo en cuenta las limitaciones de instalación de las ubicaciones individuales de las antenas, las rutas de los cables y las superposiciones de las antenas[48]

3.15 Herramientas de diseño

- **Herramientas de Diagrama**

Todos los diseños de radio interior deben estar bien documentados, incluyendo diagramas. Es esencial utilizar una herramienta electrónica que permita almacenar y actualizar la documentación del diagrama en el futuro. Siempre dejar un conjunto de diagramas de la DAS en el lugar, de preferencia con todos los componentes y su ubicación en el edificio. Puede ser muy útil dibujar el diagrama, utilizando los planos de planta como telón de fondo.

Herramientas para Cálculos de Presupuesto de Enlace

Los cálculos del presupuesto del enlace se utilizan para calcular la potencia de salida (db) en cada elemento de la antena. Los cálculos del presupuesto del enlace se hacen para que la banda se utilice para GSM / DCS / UMTS en interiores.

$$\text{EIRP} = \text{Pout BTS} + G_a - L_f - L_c - L_s - L_a$$

Pout BTS = Potencia de salida BTS en el conector de antena

G_a = ganancia de antena (db)

L_f = Pérdida del alimentador

L_c = Pérdida del acoplador

L_s = Pérdida de divisor

L_a = Pérdida del atenuador

Se recomienda un tipo de hoja de cálculo de presupuesto de enlace. Existen herramientas dedicadas para los cálculos del presupuesto del enlace, pero la flexibilidad de una hoja de cálculo estándar de Excel facilita la actualización y el mantenimiento.

Herramientas para las predicciones interiores.

Las herramientas de planificación radioeléctrica son el instrumento informático que se ha venido empleando en los últimos treinta años como apoyo al diseño, puesta en marcha y optimización de redes radioeléctricas en todo el mundo. Estas herramientas permiten realizar simulaciones teóricas de la propagación de la señal RF en el entorno de las estaciones transmisoras. Disponer de este dato con la mejor precisión permite multitud de aplicaciones tales como obtener mapas de cobertura teórica de las redes de comunicaciones inalámbricas, dimensionar la complejidad de los despliegues necesarios para cubrir la demanda de servicio o analizar la compatibilidad electromagnética entre las emisiones que comparten el espectro radioeléctrico, de las cuales existen una enorme variedad como[49] :

- **WinProp (“AWE Communications”)**

Es uno de los más sofisticados planificadores de redes y de propagación de ondas CNP (*Combined Network Planning*) del mercado. Desarrollado en Alemania, es un sistema único que ofrece herramientas para diversos estándares para la propagación de la señal inalámbrica tanto en entornos interiores como exteriores. La cobertura, el rendimiento del procesamiento de los datos, las interferencias y el bloqueo se pueden predecir basándose en las predicciones de las pérdidas de las trayectorias obtenidas con *ProMan* u otras herramientas de predicción.

- **Wise - Una herramienta de ingeniería de sistemas inalámbricos (AT&T Bell Laboratories)**

Wise es un sistema simple para la propagación de onda de la señal en entornos de interiores y de microcélulas. Consiste en tres funcionalidades principales: predicción, optimización e interacción. La primera opción es la responsable de calcular las predicciones como fichero de salida, donde la información del edificio (las localizaciones y composición de la pared), los parámetros del sistema y las localizaciones de los puntos de acceso están en los datos del fichero de entrada. Su objetivo principal es determinar el funcionamiento de sistemas inalámbricos[50].

- **Software de Diseño y Planificación de redes interiores iBwaveDesign**

IBwaveDesign es el software líder para la automatización de las actividades de planificación de diseño de software en edificios, incluidas la precisión y la productividad cuando se trabaja en proyectos inalámbricos interiores. Se comienza su diseño inicial importando los planos de planta para una vista precisa del edificio, se pueden editar los planos para reflejar el entorno físico del edificio cuando se requiera y añadir anotaciones para capturar los materiales del edificio y las características de radiofrecuencias. Se utiliza la base de datos de los componentes de la red para simular el sistema distribuido de antenas, se evalúa el impacto costo-beneficio sobre la calidad de la cobertura. Se puede imprimir una lista de materiales para obtener una estimación más precisa de los costos y del equipo necesario; acceder también a una amplia gama de informes, notas de cambios, listas de equipos y comparaciones de predicciones con informes de datos medidos. En el anexo se muestran imágenes de trabajo con esta herramienta[51].

3.16 Consideraciones

En este capítulo se presentaron aspectos técnicos y prácticos a tenerse en cuenta en el diseño y planificación de un sistema DAS con el objetivo de demostrar aún más precisión se mencionan lo principal y clave a la hora de realizar semejante tarea, después de ya haberse decidido sobre cual estructura se basará el sistema:

El proceso de diseño DAS

- 1- obtener un plan preciso y actualizado del edificio
- 2- asegurarse en conocer toda la información física relevante relacionada con el edificio y la instalación del DAS. ¿Qué tipo de material se utilizó para la construcción exterior? ¿Podrían algunas señales de RF estar presentes en los pisos superiores y cerca de los límites exteriores que reducirán la necesidad de la cobertura dentro del edificio? ¿Qué tipo de material se utilizó para la construcción de interiores, paneles de yeso o concreto? ¿Está el edificio diseñado para una aplicación especial que puede resultar en bloqueo de RF? Muchos hospitales y plantas generadoras de energía pertenecen a esta categoría. ¿Existen restricciones en la instalación de los cables y las antenas? Algunos edificios no permiten ningún hardware visible por razones estéticas. ¿Dónde pueden pasar los cables entre los pisos? ¿Dónde se ubicará el refuerzo de cabecera?

Se recalca la importancia en obtener las respuestas a estas preguntas porque el conocimiento de las mismas tendrán un gran impacto en el área de cobertura de cada nodo DAS, llegando a determinar dónde y cómo se debe instalar el DAS.

3-mapeo de todos los nodos DAS, o sea las ubicaciones de las antenas.

Considerándose como uno de los pasos más crucial en la planificación en interiores. Deben considerarse las observaciones siguientes durante la colocación de la antena: Las antenas, especialmente las antenas omnidireccionales, deben colocarse en lugares centralizados. Los paneles deben colocarse en las esquinas de los pasillos o cuando el diseño lo requiera teniendo en cuenta el derrame de las señales interiores. Las antenas deben colocarse en elevaciones altas donde la gente no puede tocarlas, ya que afectará el rendimiento. La trayectoria libre del obstáculo debe ser proporcionada para las antenas de otra manera la cobertura en interior sufrirá mucho. Las antenas deben colocarse lejos de objetos conductores. Los niveles de exposición de las señales RF interiores están por debajo del estándar de seguridad RF de la OMS, IRPA, IEEE y FCC. Sin embargo, la antena discretamente colocada reducirá las preocupaciones innecesarias del público sobre la exposición a RF. Si el edificio con baja capacidad de tráfico ha de ser planeado, las antenas deben colocarse en zigzag de manera que se obtenga una distribución uniforme de las señales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente Tesis se logró realizar un estudio sobre el uso de los sistemas de Antenas Distribuidas para expandir la cobertura y capacidad de las redes móviles, enfocados principalmente en las diferentes arquitecturas para brindar una respuesta positiva a esta problemática como complemento a las estaciones macro celulares, a las tecnologías de acceso por radio como LTE y LTE-A y en las soluciones a los problemas que acarrea el despliegue de las mismas. De esta forma se ha logrado la conformación de un documento integrador para la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, con la orientación del personal de ETECSA.

Teniendo en cuenta todo el desarrollo de la tesis se puede arribar a las siguientes conclusiones:

Conclusiones

- 1 Los sistemas DAS están primeramente orientados a proveer la cobertura en lugares de difícil cobertura y poca capacidad, necesidad esta impulsada por la creciente necesidad de estar permanentemente conectado a la red.
- 2 Gráfica y analíticamente se presentaron las ventajas del sistemas DAS en comparación con los sistemas macros convencionales en un entorno multicelular en cuanto a la eficiencia de potencia, la relación señal-a interferencia-más ruido, y la capacidad alcanzable dentro del canal considerando su ergodicidad.
- 3 Se concluye también que de las cuatro posibles arquitecturas en que se puede desplegar los sistemas DAS, cada una presenta sus ventajas y desventajas haciendo por lo tanto casi imposible afirmar que una es mejor que otra, dependiendo la escoja la que mejor cumple con lo esperado.
- 4 Tener en cuenta los problemas causados por la Intermodulación pasiva ya que los mismos limitan la calidad de la señal, y los cálculos correctos para el enlace ascendente y descendente en la planificación de RF.

- 5 Seguirse al pie de la letra todos los pasos para el diseño, auxiliándose de hojas de cálculo, softwares, mapas gráficos del edificio para una mejor predicción y despliegue del sistema.

Recomendaciones

Durante la presente investigación se observó la falta de información sobre el tema, razón por la cual se recurrió al exhaustivo trabajo de hacer inúmeras traducciones, por lo que se plantea la necesidad que se haya una investigación en el idioma Español, sobre el Tema.

Se estudió en particular el caso del despliegue en el interior, pero las limitaciones de las infraestructuras del País supondrían una dificultad en su implementación bien como el costo de los materiales, se espera en un futuro no tan lejano la capacitación de miembros del colectivo de la empresa de telecomunicación en el País (ETECSA) en lo que sistemas de antenas distribuidas se refiere, bien como su despliegue en el país ya sea en interiores exteriores como sería el caso del aeropuerto internacional José Martí, pues como se pudo ver DAS es el futuro en lo que cobertura, capacidad, y mejora de la señal se refiere, y Cuba siente ya la necesidad de estar al par con el mundo.

No menos importante sería facilitar el uso, y la adquisición de los software de test y simulación de las redes DAS, visto que los mismos son de licencia (Pago), razón por la cual en la presente investigación no se pudo demostrar en la práctica la implementación de una red DAS, esperando así que los próximos trabajos ya puedan contar con esta herramienta, y así enriquecer los conocimientos en esta área de la telefonía celular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Coffey, P., *Small Cell World Summit*, in *Unlocking small cells for metro and enterprise*, C. Coffey, Editor. 2014.
2. Landström S, F.A., Falconetti L. *Heterogeneous networks –increasing cellular capacity*. 2011.
3. *Overview of virtualization for small cells*. June 2015, Small Cell Forum.
4. *Small cells – big ideas*. 2014, SmallCell Forum.
5. Layer, R.Z., J, *Small Cells, Big Challenge*, in *A Definitive Guide to Designing and deployings HetNets*. 2013.
6. Noordman, M., *El rol de las celdas pequeñas en las redes heterogéneas*, Ericsson, Editor. 2012: SE-126 25 Stockholm, Sweden.
7. Frenzel, L., *Understanding The Small-Cell And HetNet Movement*. ELECTRONIC DESIGN, 2013. 2.
8. Mooney, J., *Designing Distributed Antenna Systems (DAS)*. 2016, Advantage Business Media's Market Monitor Research.
9. Troy, M., *Distributed Antenna Systems*, B.U.S.N.-C.R. Meeting, Editor. 2011.
10. Marin, S., *Estudio de las tendencias actuales en el diseño de antenas para nuevos terminales móviles de cuarta generación*, in *Telecomunicación*. 2014, Universidad Politécnica de Valencia: Valencia.
11. RAYAL, F. *Innovations in RF Distribution*. 2014.
12. Anzaldo, D. *Backhaul Alternatives for HetNet Small Cells*. Microwaves and RF, 2015. 2.
13. Wireless, B., *DISTRIBUTED ANTENNA SYSTEMS*, in *Multi-Band Multi-Standard Multi-Carrier*. 2015.
14. Alcatel-Lucent, *Small Cells and Distributed Antenna Systems*. 2013.
15. Ford, T., *Installing DAS & Small Cells—What You Need to Know*, in *BICSI news*. 2013.
16. Slott, L. *DAS & Small Cell Solutions: Improving In-Building Wireless*. 2013.
17. Muir, S.C.J., *DISTRIBUTED ANTENNA SYSTEMS PLUS SOFTWARE RADIO: RANGE EXTENSION AND OTHER BENEFITS*. 2013.

18. COMMDEX, *IN-BUILDING COVERAGE DISTRIBUTED ANTENNA SYSTEM SOLUTIONS*. 2014.
19. CommScope, *Distributed Coverage and Capacity Solutions*, 2015.
20. NETWORKS, A., *LTE BACKHAUL CHALLENGES, SMALL CELLS AND THE CRITICAL ROLE OF MICROWAVE*. 2016.
21. Incorporated, Q., *3GPP Femtocells: Architecture and Protocols*. 2010.
22. Rohan, M., *Distributed Antenna Systems (DAS) Market worth 10.78 Billion USD by 2022* 2017.
23. Téral, S., *Small cell market on track to increase 65%* 2014.
24. Chambers, D. *Cambridge Wireless Future of Wireless 2015 Event report* 2016.
25. Institute, A.C., *Cellular and Public-Safety Radio "Dead Zones" in Buildings Undermine the Safety of the Public and First Responders*. 2017.
26. Abbot, E., *DAS and other Small Cell Solutions: A Primer to Getting Cellular Coverage and Capacity Across Your Venue*. 2015.
27. Company, A., *Understanding IBW Solutions In-Building Wireless: DAS to Small Cells*. 2015.
28. Emerson Network Power, E.S., North America, Inc. 2013, *Distributed Antenna Systems (DAS) Solutions Infrastructure Solutions for Wireless Service and Neutral Host Providers*. 2015.
29. Hariharan, S., *The Ins and Outs of DAS Powering*, in ISE. 2014.
30. RSRF. *A Complete Guide to Cellular Distributed Antenna Systems (DAS)*. 2014.
31. De Flaviis, F., et al., *Multiantenna systems for MIMO communications*. Synthesis Lectures on Antennas, 2008. **3**(1): p. 1-250.
32. Zhang, Y., H. Hu, and J. Luo, *Distributed antenna systems: open architecture for future wireless communications*. 2007: CRC Press.
33. Choi, W. and J.G. Andrews, *Downlink performance and capacity of distributed antenna systems in a multicell environment*. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007. **6**(1).
34. Huq, K.S., R. Sadeghi, and A. Gameiro, *Distributed antenna systems aspects and deployment*. 2009.

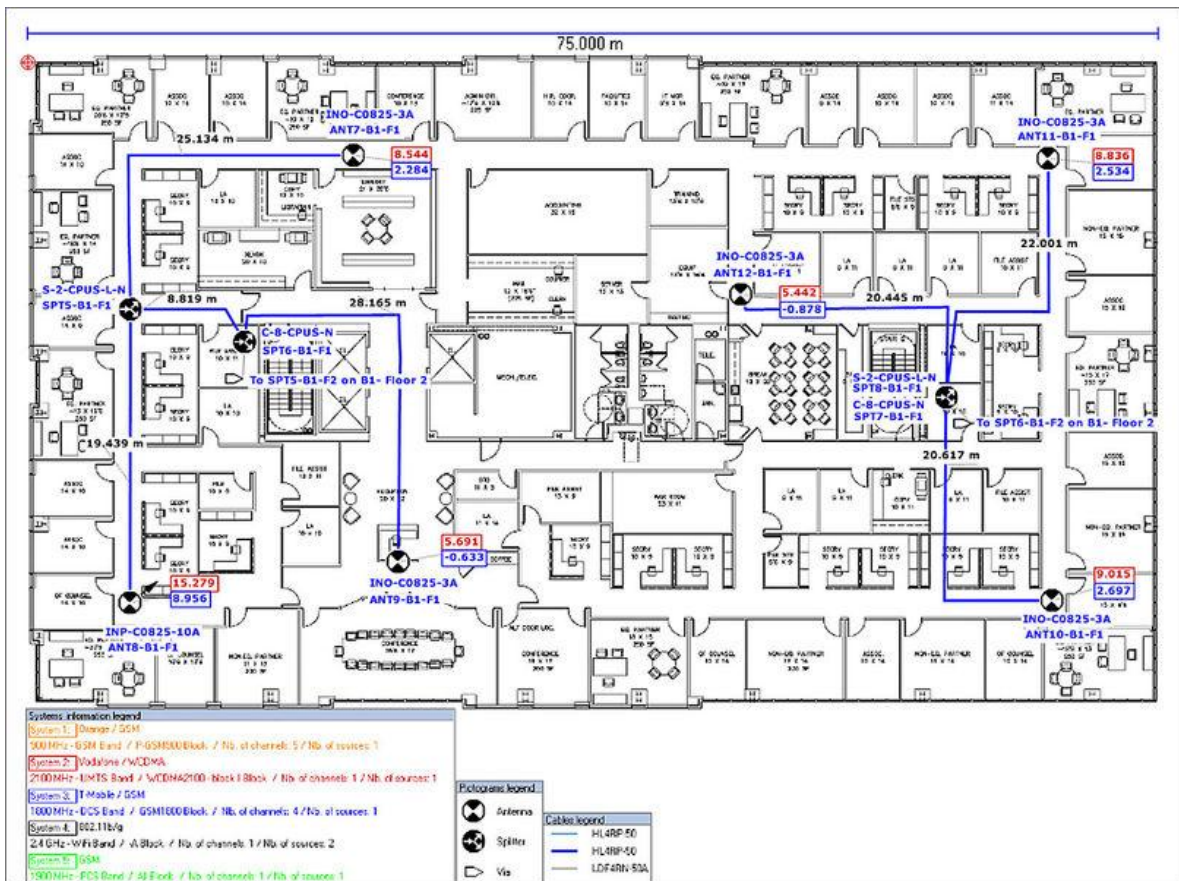
35. Abdulnour, J. *THE IMPORTANCE OF TEST TECHNIQUES FOR OPTIMIZED ANTENNA DESIGN AND PERFORMANCE*. 2015.
36. *Passive Intermodulation (PIM)*, in *ISOLA*. 2015.
37. Anritsu, *Understanding PIM Passive Intermodulation*. 2014.
38. Tolstrup, M., *Indoor Radio Planning: A Practical Guide for 2G, 3G and 4G*. 2015: John Wiley & Sons.
39. CORAL, J., *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDAS MULTI-OPERADORA PARA MEJORAR LA COBERTURA CELULAR 3G EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*, in *INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA*. 2016, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
40. Eheduru, M., *Indoor radio measurement and planning for UMTS/HSDPA with antennas*. 2013, The University of Wisconsin-Milwaukee.
41. connectivity, T., *Distributed Antenna Systems and MIMO Technology*. 2011.
42. Olstrup, M., *Indoor radio planning*. Indoor Radio Planning A Practical Guide for GSM, DCS UMTS and HSPA, 2008: p. 72.
43. Sibille, A., C. Oestges, and A. Zanella, *MIMO: from theory to implementation*. 2010: Academic Press.
44. Corporation, A. *CPRI: Common Public Radio Interface*. 2012.
45. Agilent, J., *Understanding the CPRI Digital Interface Standard*, A. Technologies, Editor. 2012.
46. Sservices, C., *Steps for Designing & Installing a Distributed Antenna System*, in www.CSS.com. 2017.
47. Foucalt, R. *How to Deploy a Successful Distributed Antenna System Within a Building*. 2015.
48. WIRELESS, E., *DAS Designing module*. 2012.
49. Chavez, L.J., *Herramientas de planificación radioeléctrica*. 2011.
50. *Herramientas de Planificación Radioeléctrica*. 2014.
51. IBWAVE, *IBWAVE DESIGN*. 2017.

ANEXOS

Anexo I Antenas comunes para la instalación del DAS [39]



Anexo II Simulación de una red DAS utilizando IBWAVE Designer [51]



Anexo III Simulación de una red DAS utilizando IBWAVE Designer [51]

Simulando la cobertura para el local

