

# **PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA**

## **SOLUCIÓN DE COBERTURA INDOOR EN REDES MOVILES, PARA PYMES Y HOGARES.**

**Saravia Zelaya, Mario Fabrizio– LU120758**

Ingeniería en Telecomunicaciones.

Tutor:

**Ing. Canal, Carlos, UADE**

Colaborador/es:

**Ing. Labat, Emanuel, Ingeniería ERB.**

**Ing. Gonzalo Ponce de León, Fiplex.**

**Junio 25, 2016**



**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

*Agradecimientos.*

*A mi madre **Prof. Haydee Zelaya Romay**, que se esmeró día a día por convertir de mí una mejor persona, con amor, constancia y ejemplo. Este logro es para ti mi mamá.*

*A mi padre el **Dr Mario F Saravia Illanes**, el cual me inculco que “no hay premio ni castigo, todo es consecuencia” pilar fundamental en mi desarrollo académico.*

*Para mi esposa **Drina Torrico**, compañera de vida, a la cual le debo el apoyo incondicional en todo momento y fundamentalmente durante este trabajo final.*

*A mi primer hijo pronto a nacer **Marito Javier**, mi razón de lucha y superación, para transmitirle el valor de la capacitación constante con mi ejemplo.*

*Al **Ingeniero Carlos Canal**, excelente profesional, que me guio en este camino de fin de carrera aprendiendo mucho más de el en nuestras reuniones de tutoría.*

*A los **Ingenieros Labat, Emanuel de Ingenieria ERB y Gonzalo Ponce de León de Fiplex**, por su colaboración técnica en este trabajo.*

*A la **UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA**, a su equipo docente, especialmente al **Ing. Francisco Tropeano** que me incentivo en darle fin a mi carrera y a su secretaria **Graciela Conca**, que en todos los años de estudiante siempre brindo su colaboración con una predisposición excelente.*

*Licenciado Mario F Saravia Zelaya.*

*LU: 120758*

*DNI: 19024268*

**ÍNDICE.**

|  |    |
|--|----|
| Resumen.....   | 12 |
| Abstract.....  | 13 |
| 1. Introducción.....   | 14 |
| 1.1. Objetivos.....  | 15 |
| 1.2. Alcance.....  | 16 |
| 1.3. Fundamentación.....   | 16 |
| 1.3.1. <i>Situación de Cobertura y Calidad.</i> .....                  | 19 |
| 1.3.2. Planteo de la solución.....                                     | 22 |
| 1.4. Caso Problema.....  | 24 |
| 1.5. Beneficios esperados.....   | 24 |
| 1.6. Organización de la PFI.....                                       | 25 |
| 2. Teoría y Tecnología.....  | 26 |
| 2.1. Historia Redes móviles.....                                       | 26 |
| 2.2. Estado del Arte.....  | 28 |
| 2.2.1. GSM (Sistema Global de Telefonía Móvil).....                    | 29 |
| 2.2.2. <i>UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).</i> ..... | 30 |
| 2.2.3. LTE (Long Term Evolution).....                                  | 34 |
| 2.3. Convergencia de Redes.....  | 36 |
| 2.4. Marco Legal.....  | 37 |
| 2.4.1. Resolución N° 5/2013.....                                       | 38 |
| 2.4.2. Decreto 798/2016.....   | 38 |
| 2.5. Estructura Geográfica de una Red.....                             | 39 |
| 2.5.1. Location Area (LA).....   | 40 |
| 2.6. Reutilización de Frecuencias.....                                 | 41 |
| 2.6.1. Sectorización.....  | 43 |
| 2.7. Red GSM.....  | 43 |
| 2.7.1. Bandas de espectro radioeléctrico.....                          | 44 |
| 2.7.2. Técnica de Acceso.....  | 45 |
| 2.7.3. Clasificación de terminales MS (Mobile Station).....            | 47 |
| 2.7.4. Arquitectura GSM.....   | 48 |
| 2.8. Red GPRS.....   | 55 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.9.    | Red UMTS.....   | 56 |
| 2.9.1.  | WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access).....                   | 57 |
| 2.9.2.  | Ensanchado y Modulación WCDMA.....                                    | 58 |
| 2.9.3.  | Arquitectura UMTS.....  | 60 |
| 2.10.   | Red LTE.....  | 61 |
| 2.10.1. | Interfaz de radio LTE.....  | 62 |
| 2.10.2. | Bandas de Operación LTE.....  | 63 |
| 2.10.3. | Arquitectura LTE.....   | 64 |
| 2.10.4. | Interconexión de red LTE a otras redes móviles.....                   | 67 |
| 2.11.   | Propagación de Ondas Electromagnéticas.....                           | 68 |
| 2.11.1. | Densidad de potencia e intensidad de campo.....                       | 69 |
| 2.11.2. | Impedancia característica del espacio libre.....                      | 70 |
| 2.11.3. | Frente de onda esférico.....  | 70 |
| 2.11.4. | Ley del cuadrado inverso.....   | 71 |
| 2.12.   | Perdidas de energía y propiedades de las ondas electromagnéticas..... | 71 |
| 2.12.1. | Atenuación.....   | 72 |
| 2.12.2. | Absorción.....  | 72 |
| 2.12.3. | Refracción.....   | 73 |
| 2.12.4. | Reflexión.....  | 75 |
| 2.13.   | Soluciones de cobertura para lugares específicos (Repetidores).....   | 77 |
| 2.13.1. | BDA (Bi-Directional Amplifiers).....                                  | 77 |
| 2.13.2. | CEL FI.....   | 79 |
| 2.14.   | SMALL CELL.....   | 81 |
| 2.14.1. | Ámbitos de aplicación de small cell.....                              | 82 |
| 2.14.2. | Estandarización y Aspectos regulatorios.....                          | 83 |
| 2.14.3. | Arquitectura Small cell.....  | 84 |
| 2.14.4. | Backhaul.....   | 86 |
| 2.14.5. | WiFi vs Small cell.....   | 87 |
| 2.14.6. | Soluciones prácticas.....   | 88 |
| 2.15.   | Cierre de Capítulo Teoría y Tecnología.....                           | 90 |
| 3.      | Metodología y Desarrollo (Proyecto).....                              | 91 |
| 3.1.    | Contexto del Problema.....  | 91 |
| 3.1.2.  | La opinión del cliente.....   | 92 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 3.2.   | Market share BAM SA.....  | 93  |
| 3.2.1. | Acuerdo de servicio y prestación.....                                     | 93  |
| 3.2.2. | Market share Esperado.....  | 94  |
| 3.3.   | Análisis técnico inicial.....   | 95  |
| 3.3.1. | Pruebas e Indicadores de calidad de servicio de voz (Estado Inicial)..... | 95  |
| 3.3.2. | Medición de accesibilidad de servicio (estado inicial).....               | 96  |
| 3.3.3. | Medición de Retenibilidad del servicio (estado Inicial).....              | 97  |
| 3.3.4. | Relevamiento de infraestructura edilicia.....                             | 97  |
| 3.3.6. | Mediciones de RSCP y Ec/Io (estado Inicial).....                          | 100 |
| 3.3.7. | Walk Test (inicial).....  | 101 |
| 3.4.   | Análisis de solución tecnológica a desarrollar.....                       | 103 |
| 3.4.1. | FODA solución BDA.....  | 103 |
| 3.4.2. | FODA solución CEL FI.....   | 106 |
| 3.4.3. | FODA solución SMALL CELL.....   | 108 |
| 3.4.4. | Definición de soluciones técnicas a instalar.....                         | 109 |
| 3.5.   | Soluciones elegidas a instalar en BAM SA.....                             | 110 |
| 3.6.   | Instalación de BDA.....   | 110 |
| 3.6.1. | Instalación de antenas repetidoras.....                                   | 110 |
| 3.6.2. | Diagrama final de instalación de BDA.....                                 | 111 |
| 3.6.3. | Elección de antena Donora de BDA.....                                     | 112 |
| 3.7.   | Instalación de solución Cel Fi.....                                       | 113 |
| 3.9.   | Análisis técnico final.....   | 115 |
| 3.9.1. | Walk Test (final).....  | 115 |
| 3.9.2. | Pruebas e Indicadores de calidad de servicio de voz (Estado Final).....   | 117 |
| 3.9.3. | Medición de accesibilidad de servicio (estado final).....                 | 117 |
| 3.9.4. | Medición de Retenibilidad del servicio (estado final).....                | 118 |
| 3.9.5. | Conclusiones de servicio.....   | 118 |
| 3.10.  | Conclusiones finales del capítulo.....                                    | 119 |
| 4.     | Elección de equipos y costos de la solución indoor instalada.....         | 121 |
| 4.1.   | Elección del equipo BDA.....  | 121 |
| 4.1.1. | Especificaciones técnicas.....  | 121 |
| 4.1.2. | Soporte Local.....  | 122 |
| 4.1.3. | Repuestos y Reparabilidad.....  | 122 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.1.4. | Casos de Éxito.....                    | 123 |
| 4.1.5. | Costos.....                            | 123 |
| 4.2.   | Elección del equipo CEL FI.....        | 123 |
| 4.2.1. | Especificaciones técnicas.....         | 124 |
| 4.2.2. | Soporte Local y Repuestos.....         | 124 |
| 4.2.3. | Casos de Éxito.....                    | 125 |
| 4.2.4. | Costos.....                            | 125 |
| 4.3.   | Costos de la instalación.....          | 125 |
| 4.4.   | Análisis de ingresos de capital.....   | 127 |
| 4.5.   | Calculo de VAN y TIR.....              | 128 |
| 4.6.   | Conclusiones finales del capítulo..... | 130 |
| 5.     | Conclusiones Finales.....              | 131 |
|        | Referencias.....                       | 134 |
|        | GLOSARIO TÉCNICO.....                  | 136 |

## ÍNDICE DE FIGURAS.

|   |    |
|---|----|
| <b>FIGURA 1:</b> Zonas edilicias con posibles problemas de Cobertura. ....                | 15 |
| <b>FIGURA 2:</b> Mundo Conectado. ....  | 17 |
| <b>FIGURA 3:</b> Proyección del crecimiento total de trafico Smartphone x mes. ....       | 18 |
| <b>FIGURA 4:</b> Crecimiento de equipos M2M. ....   | 19 |
| <b>FIGURA 5:</b> Despliegue de redes móviles. Pilares. ....                               | 20 |
| <b>FIGURA 6:</b> Antenas de redes móviles camufladas. ....                                | 21 |
| <b>FIGURA 7:</b> Ejemplo de tipos de Nodos en redes Móviles. ....                         | 23 |
| <b>FIGURA 8:</b> Jerarquía de nodos en redes móviles. ....                                | 23 |
| <b>FIGURA 9:</b> Historia de las redes Móviles. ....                                      | 26 |
| <b>FIGURA 10:</b> Creación de grupo GSM. ....   | 27 |
| <b>FIGURA 11:</b> Evolución de las tecnologías de servicios de voz y datos. ....          | 29 |
| <b>FIGURA 12:</b> Evolución y revisiones de GSM. ....                                     | 30 |
| <b>FIGURA 13:</b> Evolución UMTS. ....  | 31 |
| <b>FIGURA 14:</b> Aumento de capacidad UMTS. ....   | 34 |
| <b>FIGURA 15:</b> Evolución de 3G a 4G. ....  | 35 |
| <b>FIGURA 16:</b> Capacidad Vs Movilidad de tecnologías inalámbricas. ....                | 36 |
| <b>FIGURA 17:</b> Hacia la convergencia de Redes. ....                                    | 37 |
| <b>FIGURA 18:</b> División geográfica hexagonal. ....                                     | 39 |
| <b>FIGURA 19:</b> Location Area. Configuración. ....                                      | 40 |
| <b>FIGURA 20:</b> Locatio Area x Celda. ....  | 41 |
| <b>FIGURA 21:</b> Concepto de Reutilización celular de Frecuencias. ....                  | 42 |
| <b>FIGURA 22:</b> Reutilización de frecuencias. ....                                      | 43 |
| <b>FIGURA 23:</b> Panorama de topología red GSM. ....                                     | 44 |
| <b>FIGURA 24:</b> Bandas de frecuencia utilizadas en Argentina para GSM. ....             | 45 |
| <b>FIGURA 25:</b> Ejemplo configuración de canales en frecuencia de subida y bajada. .... | 46 |
| <b>FIGURA 26:</b> Ejemplo de configuración de Acceso FDMA y TDMA para GSM. ....           | 46 |
| <b>FIGURA 27:</b> Características Técnicas de Red LG G4. ....                             | 47 |
| <b>FIGURA 28:</b> Arquitectura de una Red GSM. ....                                       | 48 |
| <b>FIGURA 29:</b> Esquema SIM alto nivel. ....  | 49 |
| <b>FIGURA 30:</b> Tabla de estándares SIM. ....   | 49 |

|   |    |
|---|----|
| <b>FIGURA 31:</b> Esquema de elementos de una Base Station Subsystem (BSS).....                                 | 50 |
| <b>FIGURA 32:</b> Esquema modular de BTS ERICSSON.....  | 51 |
| <b>FIGURA 33:</b> Alternativas de conexión para adaptador TRAU.....   | 52 |
| <b>FIGURA 34:</b> Elementos del Subsistema de conmutación NSS.....  | 53 |
| <b>FIGURA 35:</b> Funciones del NSS.....  | 53 |
| <b>FIGURA 36:</b> Arquitectura GPRS.....  | 55 |
| <b>FIGURA 37:</b> Iniciativa global de estandarización.....   | 56 |
| <b>FIGURA 38:</b> Integración de redes UMTS con GSM.....  | 56 |
| <b>FIGURA 39:</b> Ejemplo de CDMA.....  | 57 |
| <b>FIGURA 40:</b> WCDMA en FDD y TDD.....   | 58 |
| <b>FIGURA 41:</b> Ensanchado y modulación de WCDMA.....   | 58 |
| <b>FIGURA 42:</b> Ensanchado/ des ensanchado +Modulación / Demodulación de WCDMA+ ruido<br>+ interferencia..... | 59 |
| <b>FIGURA 43:</b> Frecuencias UMTS en Argentina.....  | 59 |
| <b>FIGURA 44:</b> Arquitectura UMTS (Release 99).....   | 60 |
| <b>FIGURA 45:</b> Sub portadoras ortogonales OFDM.....  | 62 |
| <b>FIGURA 46:</b> Acceso múltiple OFDMA.....  | 63 |
| <b>FIGURA 47:</b> Ancho de bandas utilizados en LTE.....  | 63 |
| <b>FIGURA 48:</b> Frecuencias utilizadas en LTE.....  | 64 |
| <b>FIGURA 49:</b> Frecuencias LTE en Argentina.....   | 64 |
| <b>FIGURA 50:</b> Simplicidad red LTE.....  | 65 |
| <b>FIGURA 51:</b> Arquitectura LTE simplificada.....  | 65 |
| <b>FIGURA 52:</b> eNodeB, interfaces. Arquitectura LTE.....   | 66 |
| <b>FIGURA 53:</b> Evolved Packet Core, Arquitectura.....  | 67 |
| <b>FIGURA 54:</b> Arquitectura LTE interconectada.....  | 68 |
| <b>FIGURA 55:</b> Onda Plana.....   | 69 |
| <b>FIGURA 56:</b> Fuente de onda producida por una fuente isotrópica.....                                       | 69 |
| <b>FIGURA 57:</b> Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas.....                                     | 73 |
| <b>FIGURA 58:</b> Refracción de una onda en una frontera plana (entre dos medios).....                          | 74 |
| <b>FIGURA 59:</b> Reflexión electromagnética en una frontera plana entre dos medios.....                        | 76 |
| <b>FIGURA 60:</b> Funcionamiento de BDA.....  | 78 |
| <b>FIGURA 61:</b> BDA hardware.....   | 78 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>FIGURA 62:</b> Modelos de Cel fi por capacidad.....                                       | 80  |
| <b>FIGURA 63:</b> Solución Cel Fi instalados por capacidad.....                              | 80  |
| <b>FIGURA 64:</b> Cel Fi adaptados a recintos móviles.....                                   | 81  |
| <b>FIGURA 65:</b> Escenario de despliegue estándar de una small cell.....                    | 81  |
| <b>FIGURA 66:</b> Escenario de despliegue estándar de una small cell.....                    | 83  |
| <b>FIGURA 67:</b> Arquitectura small cell.....   | 85  |
| <b>FIGURA 68:</b> Backhaul de Small cell. Estructura genérica con un concentrador local..... | 86  |
| <b>FIGURA 69:</b> Backhaul small cell con backup.....  | 86  |
| <b>FIGURA 70:</b> Proyecto Zero Site.....  | 89  |
| <b>FIGURA 71:</b> Parada de autobús con small cell integrada.....                            | 89  |
| <b>FIGURA 72:</b> Ubicación de Empresa BAM SA.....   | 92  |
| <b>FIGURA 73:</b> Fachada empresa BAM SA.....  | 98  |
| <b>FIGURA 74:</b> Techo exterior de edificio administrativo BAM SA.....                      | 98  |
| <b>FIGURA 75:</b> Techo interior y aislante térmico del edificio administrativo BAM SA.....  | 99  |
| <b>FIGURA 76:</b> Sitios de operadora B que prestan servicios en la zona de BAM SA.....      | 99  |
| <b>FIGURA 77:</b> Walk test del cliente BAM SA, estado inicial RSCP. Planta baja.....        | 101 |
| <b>FIGURA 78:</b> Walk test del cliente BAM SA, estado inicial RSCP. Primer piso.....        | 102 |
| <b>FIGURA 79:</b> Walk test del cliente BAM SA, estado inicial Ec/Io. Planta baja.....       | 102 |
| <b>FIGURA 80:</b> Walk test del cliente BAM SA, estado inicial Ec/Io. Primer piso.....       | 102 |
| <b>FIGURA 81:</b> Esquema de instalación de solución en Planta Baja.....                     | 111 |
| <b>FIGURA 82:</b> Esquema de instalación de solución en Primer piso.....                     | 111 |
| <b>FIGURA 83:</b> Diagrama de instalación BDA. BAM SA.....                                   | 112 |
| <b>FIGURA 84:</b> Candidatos para nodo dador de señal. BDA BAM.....                          | 112 |
| <b>FIGURA 85:</b> Mediciones de antena donora (VRS024).....                                  | 113 |
| <b>FIGURA 86:</b> Línea de vista de antena donora (VRS024) y antena captora de señal.....    | 113 |
| <b>FIGURA 87:</b> Instalación recomendada de Cel fi.....                                     | 114 |
| <b>FIGURA 88:</b> Instalación BDA Finalizada. BAM SA.....                                    | 114 |
| <b>FIGURA 89:</b> Instalación Cel Fi Finalizada. BAM SA.....                                 | 115 |
| <b>FIGURA 90:</b> Walk test del cliente BAM SA, estado final RSCP. Planta baja.....          | 115 |
| <b>FIGURA 91:</b> Walk test del cliente BAM SA, estado final RSCP. Primer piso.....          | 116 |
| <b>FIGURA 92:</b> Walk test del cliente BAM SA, estado final Ec/Io. Planta baja.....         | 116 |
| <b>FIGURA 93:</b> Walk test del cliente BAM SA, estado final Ec/Io. Primer piso.....         | 117 |

## ÍNDICE DE TABLAS.

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1:</b> Niveles de atenuación para diversos Materiales.....                            | 14  |
| <b>Tabla 2:</b> Niveles de atenuación para diversos Materiales.....                            | 14  |
| <b>Tabla 3:</b> Estándares anteriores a GSM x región.....                                      | 28  |
| <b>Tabla 4:</b> Frecuencias utilizadas para GSM. ....  | 45  |
| <b>Tabla 5:</b> Listado de datos que contiene un módulo SIM.....                               | 50  |
| <b>Tabla 6:</b> Distribución temporal de clientes en BAM SA.....                               | 93  |
| <b>Tabla 7:</b> Evolución de distribución esperada de clientes en BAM SA. ....                 | 94  |
| <b>Tabla 8:</b> Horario de pruebas de llamado para empresa BAM SA.....                         | 96  |
| <b>Tabla 9:</b> Accesibilidad de la Red móvil del operador B. Estado inicial.....              | 97  |
| <b>Tabla 10:</b> Retenibilidad de la Red móvil del operador B. Estado inicial.....             | 97  |
| <b>Tabla 11:</b> Tipificación de RCSP por rango de valores.....                                | 100 |
| <b>Tabla 12:</b> Tipificación de Ec/Io por rango de valores.....                               | 101 |
| <b>Tabla 13:</b> Análisis FODA para solución BDA.....  | 103 |
| <b>Tabla 14:</b> Análisis FODA para solución Cel Fi.....                                       | 106 |
| <b>Tabla 15:</b> Análisis FODA para solución Small Cell.....                                   | 108 |
| <b>Tabla 16:</b> Accesibilidad de la Red móvil del operador B. Estado final.....               | 118 |
| <b>Tabla 17:</b> Retenibilidad de la Red móvil del operador B. Estado final.....               | 118 |
| <b>Tabla 18:</b> Características necesarias equipo BDA.....                                    | 121 |
| <b>Tabla 19:</b> Características técnicas solicitadas en equipo BDA.....                       | 122 |
| <b>Tabla 20:</b> Características necesarias equipo Cel Fi.....                                 | 123 |
| <b>Tabla 21:</b> Características técnicas solicitadas en equipo BDA.....                       | 124 |
| <b>Tabla 22:</b> PxQ de la solución indoor BAM SA. Proveedor Operadora B.....                  | 126 |
| <b>Tabla 23:</b> Planes de servicio de voz y datos. Operadora B.....                           | 127 |
| <b>Tabla 24:</b> Cantidad de Líneas de BAM SA con la operadora B. Evolución por trimestre..... | 127 |
| <b>Tabla 25:</b> Ingresos por abono de servicio tentativa de BAM SA.....                       | 129 |

**ÍNDICE DE GRAFICOS.**

|   |     |
|---|-----|
| <b>GRAFICO 1:</b> Distribución de parque de líneas de la empresa BAM SA.....                          | 94  |
| <b>GRAFICO 2:</b> Evolución del parque de líneas esperado. BAM SA. ....                               | 95  |
| <b>GRAFICO 3:</b> Mejora de indicadores de calidad de servicio de voz. BAM SA. ....                   | 119 |
| <b>GRAFICO 4:</b> Evolución del parque de líneas de BAM SA con la operadora B por trimestre.<br>..... | 128 |
| <b>GRAFICO 5:</b> Amortización de la solución BAM SA.....   | 130 |

**Resumen.**

El siguiente trabajo presentará soluciones tecnológicas para mejorar los servicios de voz y datos móviles en lugares específicos, llamados indoor, que son sectores/recintos cubiertos y/o cerrados.

Se focalizará este estudio en soluciones para pequeñas empresas Pymes pero además estas soluciones podrían ser adaptables a domicilios particulares.

El trabajo está pensado como parte de un servicio adicional donde una operadora de telecomunicaciones puede brindar a sus clientes que poseen inconvenientes de comunicación (dentro de sus oficinas, fábricas, depósitos, etc.), este servicio. Sumando un producto más a su cartera de soluciones.

Las operadoras de telecomunicaciones que brindan servicios de voz y datos se han focalizado en mayor medida a la instalación de nodos externos para brindar cobertura y así prestar sus servicios. Además está instalada en la sociedad la idea que un despliegue de servicio móvil viene de la mano de infraestructura voluminosa (Torres con antenas, equipos grandes, con gran potencia, consumo de energía elevado, etc.).

Las operadoras de telecomunicaciones se han focalizado mayormente en desplegar nodos externos (macro celdas). Una vez asegurado en el mejor de los casos el despliegue exterior a nivel macro, salen a la luz problemas para cubrir zonas más pequeñas, donde existen inconvenientes de cobertura por ser lugares más complejos, llámese así a subsuelos, edificios con mucha altura, lugares cuya realidad edilicia (hormigón, hierro, techos de metal, etc.), dificultan la recepción adecuada de la señal.

Este trabajo final de ingeniería tiene como objetivo el estudio de soluciones técnicas para mejorar la cobertura de redes móviles de voz y datos en lugares complejos, permitiendo que una operadora de telecomunicaciones pueda brindar una solución alternativa para mejorar su servicio en lugares donde no pudo llegar con su despliegue exterior.

Se elegirá un caso testigo, originado por el reclamo de un cliente particular, el cual no está conforme con la calidad de los servicios que se le brinda. Se propondrá una solución técnica y luego se realizarán pruebas y mediciones antes y después de la instalación.

El objetivo de la solución propuesta será brindar servicios de alta calidad, fidelizar al cliente, aumentar la facturación promedio, consolidar una posición más favorable para ampliar la oferta de servicios al cliente.

**Abstract.**

The following work will introduce technological solutions to improve voice and mobile data in specific places, called indoors, which are sectors / indoor and/ or closed venues.

This study will focus on solutions for small enterprises or pymes (s.m.e.), but moreover, these solutions could be adapted to private domiciles.

The work has been thought as part of an additional service to clients with communication problems. A telecom operator can supply this service directly to those clients' offices, factories, warehouses, etc.). Consequently, they could add a new product to their solutions portfolio.

The telecom operators who supply voice and data services have mostly focused on the installation of external nodes to offer coverage and provide their services. Additionally, people think that a deployment of mobile service is associated to a huge infrastructure (towers with antennas, big powerful equipment, high energy consumption, etc.).

The telecom operators have mostly focused on the deployment of external nodes (macro cells). Once the macro external deployment is, at best, secured, there appear some problems to cover smaller areas, where there are coverage problems due to the fact that those are more complex places, such as basements, high buildings, and other kind of buildings such as those including concrete, iron, or metal roofs in their structure. Those circumstances make signal reception difficult.

This final engineering work aims at the study of technical solutions to improve the coverage of voice and mobile data networks in complex places, enabling a telecom operator to bring an alternative solution to improve service where it is difficult to get with external deployment.

A test case will be chosen. It will be originated based on the claim from a particular client, who is not satisfied with the quality of services received. And afterwards, tests and measures will be carried out before and after installation.

A technical solution will be proposed, and afterwards, tests and measures will be carried out before and after installation. The objective of the proposed solution will be the provision of high quality services, achievement of client's loyalty, increase of average turnover, and consolidation of a more favourable position to widen the customer service offer.

## 1. Introducción.

Esta práctica final de ingeniería tiene como fin presentar soluciones tecnológicas instalables en lugares cerrados y/o cubiertos llamados indoor. Estas soluciones se instalan con el propósito de mejorar la calidad de los servicios móviles (voz y datos) de las prestadoras de servicio de telecomunicación, cuyo despliegue de nodos externos no pueden brindar la calidad esperada dentro de estos recintos.

Existen infraestructuras edilicias que son propensas a brindar más resistencia al paso de las ondas electromagnéticas, dependiendo de los materiales de construcción que son parte su estructura estas pueden atenuar más o menos la señal electromagnética de la prestadora TELCO.

La tabla N° 1 nos muestra algunos grados cualitativos de atenuación de diversos materiales.

| Materiales               | Grado de atenuación | Ejemplos   |
|--------------------------|---------------------|--|
| Aire                     | Ninguno             | Aire libre, patio interno  |
| Madera                   | Bajo                | Puerta, piso, medianera  |
| Plástico                 | Bajo                | Medianera  |
| Vidrio                   | Bajo                | Ventanas sin teñir   |
| Vidrio teñido            | Medio               | Ventanas teñidas   |
| Agua                     | Medio               | Acuario, fuente  |
| Seres vivientes          | Medio               | Multitud, animales, personas, plantas                                |
| Ladrillos                | Medio               | Paredes  |
| Yeso                     | Medio               | Medianeras   |
| Cerámica                 | Alto                | Tejas  |
| Papel                    | Alto                | Bobinas de papel   |
| Concreto                 | Alto                | Muros de carga, pisos, columnas                                      |
| Vidrio a prueba de balas | Alto                | Ventanas a prueba de balas   |
| Metal                    | Muy alto            | Concreto reforzado, espejos, armarios metálicos, cabina del ascensor |

**Tabla 1:** Niveles de atenuación para diversos Materiales.

**Fuente:** <http://ccm.net/contents/832-propagation-of-radio-waves-802-111>

Pero además de estos sitios construidos con materiales atenuadores de señal, también podemos encontrarnos con recintos cuyo inconveniente de recepción se debe a su ubicación en altura, lugares subterráneos o departamentos en pisos elevados, cuya planificación de cobertura generalmente no es tenida en cuenta y necesitan de una solución alternativa para proveerles servicio.

Por lo tanto este trabajo se focalizará en brindar soluciones para el tipo de zonas mencionadas en los párrafos anteriores. La figura N° 1 esquematiza lo mencionado.



**FIGURA 1:** Zonas edilicias con posibles problemas de Cobertura.

### 1.1. Objetivos.

Una vez planteado el propósito de este trabajo presentamos objetivos que perseguirá el mismo, debido a que la instalación de este tipo de soluciones tecnológicas no se encuentra totalmente desarrollada, este trabajo colaborará entendiendo el presente de estas soluciones y su desarrollo.

Objetivos Generales:

Analizar la factibilidad de una solución tecnológica indoor para ampliar la cobertura de redes móviles de voz y datos en lugares donde los prestadores de servicios de telecomunicaciones tienen cobertura pobre o nula. De esta forma mejorará la disponibilidad y calidad de servicio de la empresa de telecomunicaciones que ofrece la prestación.

Objetivos Específicos:

- Exponer un caso real donde nos encontramos ante un problema de mala calidad de servicio de voz y/o datos, mediremos parámetros de calidad de servicio antes y después de la instalación de la solución indoor, mostrando los resultados técnicos y costos del despliegue.
- Presentar un resumen técnico de las tecnologías actualmente más utilizadas (LTE, UMTS y GSM).
- Analizar soluciones de cobertura indoor más utilizadas en la actualidad, su topología, sus beneficios y debilidades.

## 1.2. Alcance.

Esta práctica final de ingeniería será acotada por tipo de cliente/infraestructura, zona geográfica de implementación, tecnologías adicionales disponibles y visión de desarrollo del trabajo.

Trabajaremos presentando soluciones para pequeñas empresas llamadas Pymes <sup>1</sup> y potencialmente aplicables a domicilios particulares, donde los clientes tengan inconvenientes de servicio debido sus construcciones edilicias atenuadoras o tal vez lugares en altura y/o Subsuelos. Entendemos por pequeñas empresas a aquellas que tengan menos de 50 líneas móviles suscriptas a una operadora TELCO. Respecto a la infraestructura, trabajaremos con casos cuya superficie del sector a analizar no supere los 1000 mt<sup>2</sup>.

El ámbito de aplicación geográfica serán las capitales provinciales, ciudades principales y la región del AMBA, donde la conexión a internet por sistemas fijos (ADSL, FTTH, etc.) esté disponible y se pueden utilizar estas tecnologías como parte de la solución y además exista un despliegue importante de celdas outdoor.

El trabajo y caso planteado se ejecutará teniendo en cuenta que es una empresa de telecomunicaciones la que brinda un servicio adicional a un nicho de clientes que tienen un problema focalizado y brindando una alternativa técnica se esperan beneficios económicos y de fidelización.

## 1.3. Fundamentación.

El incremento del uso de internet para trabajo y entretenimiento creció exponencialmente en el transcurso de estos años.

Las empresas buscan soluciones flexibles y escalables que se adapten a sus necesidades en forma veloz y económica. Existen servicios en la nube de internet, como servicios de almacenamiento, servicios de edición compartida, correo, video conferencias, portales corporativos, aplicaciones móviles, servicio de mantenimiento remoto, video vigilancia, etc. Estos servicios siguen ganando empresas suscriptoras que se vuelcan por estas soluciones.

Por otra parte los portales streaming de entretenimiento y educación también crecieron de forma veloz y acelerada, Netflix como principal generadora de contenidos pagos y

---

<sup>1</sup> Pymes: Acrónimo o siglas con el que se identifica a las micro, pequeñas y medianas empresas.



distribuidora de los mismos en forma digital comenzó a ganar clientes en todo el mundo, otros portales que siguen creciendo son YouTube, FOXplay, HBO, etc.

Paralelamente en el mundo de las redes sociales existen portales con gran número de suscriptores y diversas filosofías de relación entre sus usuarios, algunas son Facebook, Twitter, LinkedIn, Etc. También crecen los servicios de mensajería online como Line, Whatsapp, Messenger de Facebook, etc. Y además se abrió un escenario para utilizar la red de datos como transporte para llamadas Voip con Skype, Whatsapp, Facebook, etc.

Todo este escenario planteado necesita de una red con capacidad para soportar y transportar estos servicios, que sea eficiente y tenga una alta disponibilidad. La red móvil está evolucionando para poder brindar estas características. Los nuevos servicios empujan a los prestadores a brindar mayor ancho de banda y disponibilidad de sus redes. La convergencia Fijo- Movil nos entregan alternativas tecnológicas cada vez con más capacidad de transferencia de datos y movilidad amplia.

Si bien hasta hace un tiempo los servicios de voz eran el centro del negocio de las operadoras, los servicios de datos vienen ganando día a día mercado. Las operadoras ya comenzaron a implementar la solución VOLTE <sup>2</sup> para dar inicio a una red completamente IP<sup>3</sup>, se termina la conmutación de circuitos y con esta evolución cambia su foco al mercado de la transferencia de datos y servicios de valor agregado sobre estos.



**FIGURA 2:** Mundo Conectado.

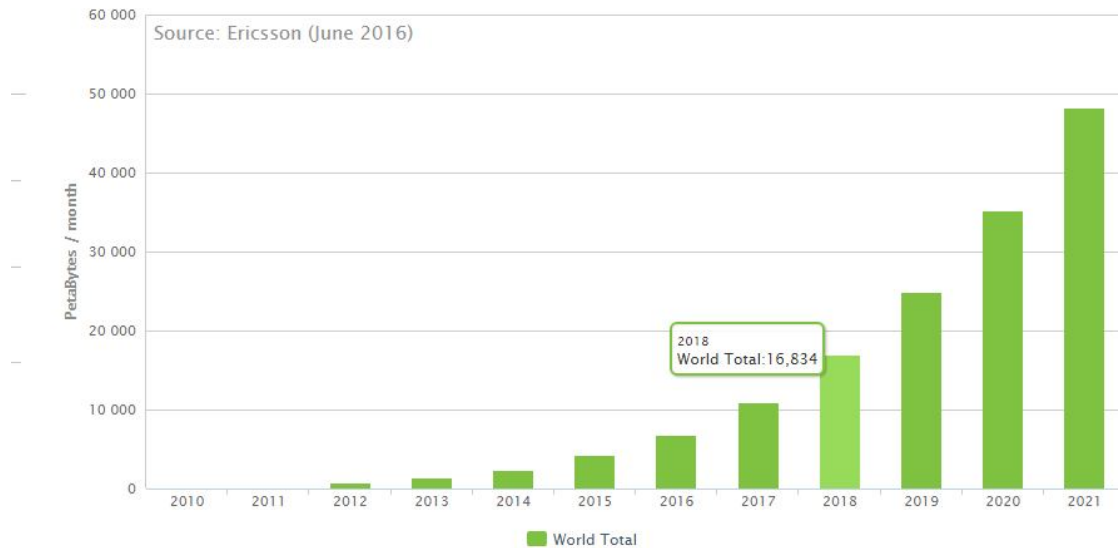
Por todo lo planteado en los párrafos anteriores, la planificación de un escenario de despliegue de red para brindar cobertura y mayor capacidad debe ser primordial ya que el crecimiento de demanda es una certeza y no una suposición.

<sup>2</sup> VOLTE: Voice over LTE.

<sup>3</sup> IP: Internet Protocol.

La figura N° 3 nos muestra cómo fue creciendo el tráfico sobre dispositivos Smartphones y cuál es la evolución esperada, es clara la tasa de crecimiento exponencial que se espera en los próximos años. Se espera que para el 2018 la cantidad de datos traficados en forma mundial alcancen los 16830 PetraBytes<sup>4</sup> por mes.

### Data Traffic – Smartphone



**FIGURA 3:** Proyección del crecimiento total de tráfico Smartphone x mes.

**FUENTE:** <http://www.ericsson.com/TET/trafficView/loadBasicEditor.ericsson>

Es un hecho de que no solamente está creciendo la cantidad de Smartphones, reemplazando así dispositivos menos tecnológicos, sino además la cantidad de tablets y otros dispositivos que se conectan a la red. Como por ejemplo Smart tv, alarmas de monitoreo de vehículos, domiciliarias, dispositivos de medición y control a distancia, este nuevo mercado de las “cosas conectadas” es el llamado M2M.

Según pronósticos de foros especialistas en el tema, brindan proyecciones de crecimiento de gran volumen. El Pronóstico Global de módulos M2M que realiza Yankee Group, predice que en 2017 habrá 480 millones de dispositivos M2M<sup>5</sup>.

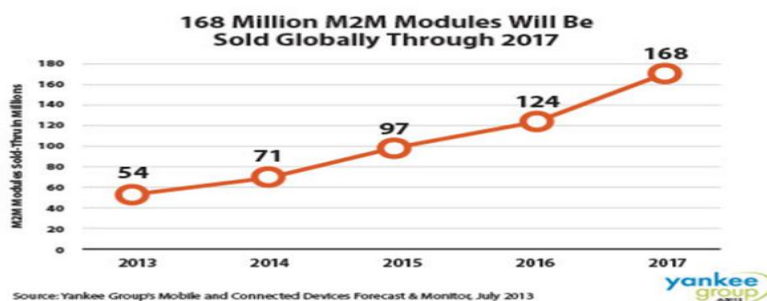
<sup>4</sup> PetraBytes = 10<sup>15</sup> Bytes

<sup>5</sup> Referencia: <http://www.4gamericas.org/es/resources/technology-education/internet-things/m2m/>

Este crecimiento se debe a:

- Conectividad accesible. El crecimiento de las redes móviles permiten la accesibilidad de estos dispositivos a la red.
- Potencia de modulo menor: Al optimizar su potencia de funcionamiento pueden añadirse a otros dispositivos sin necesidad de replanteos energéticos.
- Nuevos modelos de negocios mejorados para mercados establecidos y emergentes.

La figura N° 4 nos muestra el crecimiento sostenido de dispositivos M2M y predice alrededor de 168 millones de dispositivos para el año próximo.



**FIGURA 4:** Crecimiento de equipos M2M.

**FUENTE:** Yankee Grup.

### ***1.3.1. Situación de Cobertura y Calidad.***

Existen muchos clientes insatisfechos por servicios de comunicaciones móviles. La red es un elemento dinámico, donde día a día se expande con nuevas tecnologías y contrae en otras tecnologías que están comenzando su apagado para dar paso a soluciones modernas.

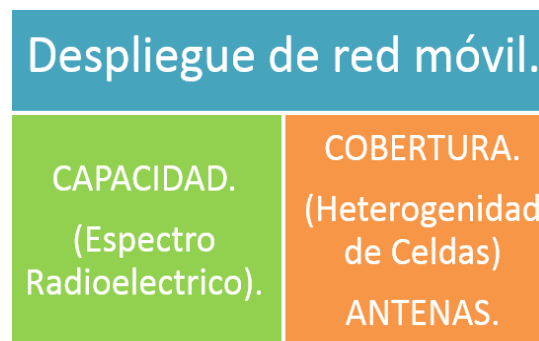
Es por eso que se buscan soluciones para mejorar los servicios en lugares donde el estar conectado continuamente es fundamental.

Uno de los principales factores de atenuación de una señal electromagnética que se transmite por el espectro radioeléctrico son las infraestructuras edilicias (Compuestas por materiales como hormigón, hierro, acero, etc.). Para poder disminuir este inconveniente es necesario pensar en soluciones alternativas que sean superadoras a las implementadas en la actualidad, nodos outdoor encargadas de ofrecer servicios de voz y datos, de gran volumen físico y alto consumo de energía, que cubren un radio de más de un kilómetro. Es por eso que apuntamos a nuevos elementos de red que permitan mejorar la cobertura interior y da solución a

los problemas de falta o baja calidad de servicio. Estas soluciones brindan beneficios tanto para las operadoras como para los clientes que implementen las mismas. Un beneficio mutuo adicional que genera algún tipo de solución indoor es la liberación de tráfico de nodos externos, cuyos recursos pueden ser reutilizados por otros usuarios (no se da en elementos repetidores).

La gran demanda de ancho de banda, disponibilidad y calidad de servicios móviles de voz y datos no siempre es acompañada por un despliegue de red adecuado para cumplir estos requisitos que exigen los usuarios.

Un despliegue óptimo tiene dos pilares fundamentales que son la capacidad y la cobertura de la red móvil. Figura N° 5.



**FIGURA 5:** Despliegue de redes móviles. Pilares.

La capacidad, es directamente proporcional al espectro radioeléctrico con el que la operadora de telecomunicaciones cuenta. Cuanto más se disponga mejor, pero este es un recurso escaso, limitado, regulado y sobre todas las cosas costoso. Por lo general las operadoras de telecomunicaciones obtienen los permisos para utilizar el espectro (por el órgano de regulación y control de este recurso) por medio de subastas.

Es normal que una operadora cuente con espectro en más de una frecuencia, y además que brinde distintas tecnologías de acceso móvil a sus usuarios.

La reutilización del espectro en distintas zonas, es una forma eficiente de aprovechar y administrar el espectro licenciado que cada operadora tiene.

En este sentido, es fundamental que el Estado nacional, regule y administre el espectro necesario para el correcto funcionamiento del servicio a brindar.

Otra parte de la ecuación de despliegue tiene que ver con el hardware instalado, puntalmente las antenas radiantes.

En Argentina, las licencias para prestar servicio móvil son otorgadas por el regulador a nivel nacional, para instalar estructuras que soporten el equipamiento necesario se necesitan autorizaciones regionales o municipales.

Este es un punto crítico ya que existen criterios muy divergentes a la hora de autorizar o rechazar la instalación de antenas y hardware necesario según cada zona y municipio. En la República Argentina, cada operadora tiene que gestionar en forma particular cada autorización, teniendo diferencias de criterios, costos y problemas sociales que pueden traer las instalaciones de radio bases.

Algunas de las causas de no aceptación es el temor vecinal a una probable afectación de salud por exposición a las ondas electromagnéticas, contaminación visual, desconocimiento del funcionamiento de la tecnología, etc.

Pero muchos fabricantes se han adaptado velozmente a estas restricciones, y con ello han sabido capitalizar una necesidad de mercado camuflando las antenas de formas muy ingeniosas. La figura N° 6 muestra algunas antenas camufladas.



**FIGURA 6:** Antenas de redes móviles camufladas.

**FUENTE:** Capacitación interna Movistar Argentina.

Existen algunas ideas para acordar algún código de buenas prácticas para la instalación de antenas, con el fin de unificar un criterio que abarque a la mayor cantidad de regiones posibles. Estas acciones ayudarán al despliegue más dinámico, pero no solucionarán del todo los problema indoor de cobertura.

La breve descripción del problema, pone de manifiesto la necesidad de encontrar un camino de solución para permitir la instalación de antenas producto de la necesaria expansión de las redes, la prestación del servicio, el cumplimiento de las metas y la satisfacción de los clientes por parte de los operadores y por el otro el cumplimiento de normas a nivel nacional,

provincial y municipal con el fin de propender al cuidado del medio ambiente y la debida información de la población.<sup>6</sup>

Si bien en Argentina todavía no existe un consenso reglamentado vigente, esta idea toma cada día más fuerza con el planteo paralelo de mayor calidad de servicio, exigido por los organismos de control y regulación nacional.

### 1.3.2. Planteo de la solución.

Las celdas desplegadas pueden clasificarse por su radio de cobertura y potencia en:

- Macro-Celdas: Se alojan en zonas urbanas, suburbanas y rurales. Usualmente ubicadas en edificios y/o torres elevadas. Su potencia de salida es alta (20 Watts) y puede constar de varias portadoras y antenas. Generalmente se configuran en varios sectores.
- Micro-Celdas: Se utilizan en lugares densamente poblados, zonas específicas de alta concentración de usuarios como edificios gubernamentales, shoppings, universidades, empresas grandes, etc. Su configuración generalmente es en una sola dirección (omnidireccionales) y su potencia de salida puede alcanzar los 5 Watts. También son instaladas en calles y estaciones de subte.
- Small Cell: es un término genérico para nodos de acceso de baja potencia controlados por el operador, pueden operar en el espectro con y sin licencia de nivel de operador Wi-Fi. Las Small Cell suelen tener un rango de 10 metros hasta varios cientos de metros.<sup>7</sup> Estas incluyen a las llamadas Femtoceldas y Pico Celdas. Existe un ámbito muy desarrollado para este tipo de dispositivos llamado Small Cell Forum, donde participan distintos organismos y empresas interesadas en difundir esta tecnología y garantizar una estandarización, regulación e interoperabilidad de estos dispositivos con los que esta práctica final trabajará.
- Repetidores: Se utilizan repetidores que captan la señal en zonas de óptima cobertura, amplifican esta señal y la retransmiten a las zonas que previamente tenían baja cobertura. Si bien este tipo de dispositivos fueron y todavía son utilizados, se demuestra que tienen

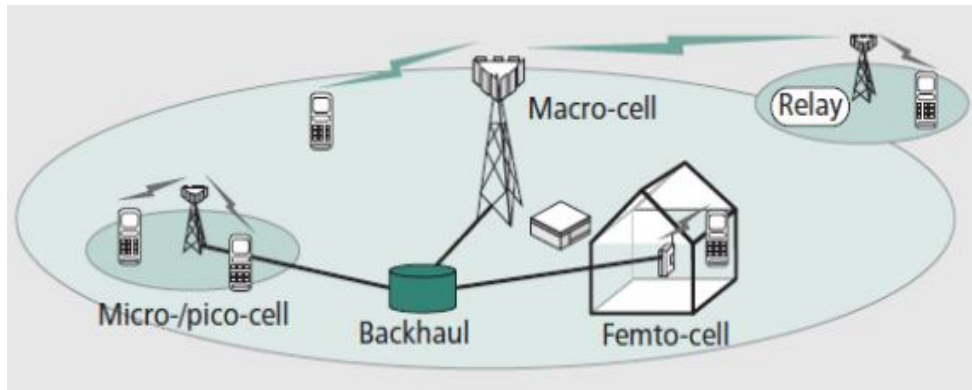
---

<sup>6</sup> Referencia:

[http://gobiernoslocales.com.ar/files/File/adjunto\\_163\\_5\\_comunicaciones\\_moviles.pdf](http://gobiernoslocales.com.ar/files/File/adjunto_163_5_comunicaciones_moviles.pdf)

<sup>7</sup> Referencia: <http://www.smallcellforum.org/about/about-small-cells/small-cell-definition/>

varios inconvenientes como por ejemplo las interferencias que pueden generar en contra de la red donora.

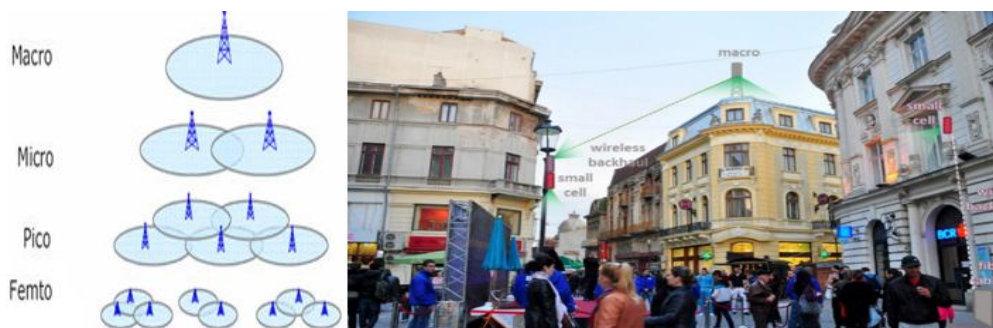


**FIGURA 7:** Ejemplo de tipos de Nodos en redes Móviles.

**FUENTE:** Capacitación interna Movistar Argentina.

Surge así el concepto de redes heterogéneas, se debe a que en una zona es necesario desplegar varios tipos de las celdas mencionadas, con el fin de cubrir las zonas que las macro celdas no puedan alumbrar o que debido a la atenuación de las infraestructuras edilicias no lleguen con un nivel de potencia aceptable para el correcto funcionamiento de los servicios o que existan zonas con densidad crítica de usuarios. La figura N° 7 muestra un ejemplo.

Por lo tanto planteamos dos escenarios posibles. El primer escenario lugares con densidad de clientes importantes y el segundo escenario sectores geográficos con problemas de atenuación de señal (el cual trabajaremos). La figura N° 8 muestra la jerarquía de nodos con la que cuentan los operadores.



**FIGURA 8:** Jerarquía de nodos en redes móviles.

**FUENTE:** Capacitación interna Movistar Argentina.

En los párrafos anteriores planteamos los principales problemas que se presentan a la hora de ejecutar un despliegue y/o ampliación de una red móvil (espectro radioeléctrico y marco regulatorio para instalación de infraestructura). Luego presentamos una clasificación de tipo de celdas por radio de cobertura, potencia y capacidad.

Estos dos últimos temas tratados son ideas aisladas una de otra, pero serán conectados por esta práctica final de ingeniería ya que presentaremos soluciones tecnológicas aplicables para resolver una problemática puntual presentada.

#### **1.4. Caso Problema.**

Esta práctica final de ingeniería analizará el caso de una empresa pequeña con 50 empleados cuya superficie edilicia no mayor a los 1000 m<sup>2</sup>, esta Pyme presenta problemas en la recepción y emisión de llamadas y/o problemas de baja velocidad de navegación o lentitud en la misma.

Como primera instancia realizaremos pruebas de llamadas de voz o navegación de datos en distintos lapsos horarios (puntualmente en horas pico) de un día laboral, se tomarán mediciones de potencias de recepción y analizarán que nodos son los que brindan este servicio. Con toda esta información recopilada se elaborará un informe de situación previa /inicial.

Posteriormente se analizará la instalación de un equipo que de fin al inconveniente presentado y se adapte a los requerimientos técnicos del cliente. El mismo será elegido comparando sus cualidades técnicas tales como capacidad, facilidad de instalación, gestión local y remota, precios, garantías, etc.

Luego una vez instalada la solución, se realizarán las pruebas iniciales nuevamente, con esto se contrastará los resultados obtenidos.

#### **1.5. Beneficios esperados.**

Una vez instalada la solución, se espera mejorar parámetros de calidad de servicios del cliente. Para ello repetiremos las pruebas y mediciones que realizamos inicialmente y las compararemos con el estado previo a la instalación, analizando su mejora con datos cuantitativos.



Como servicio brindado por una empresa de telecomunicaciones se pretende fidelizar al cliente donde instalamos la solución y con esto tener un escenario más favorable para ofrecer ampliar sus servicios contratados.

Además en el actual escenario de portabilidad inter-empresas de telecomunicaciones, pretendemos realizar una propuesta de portación de líneas. Estas líneas que pretendemos ganar tienen servicios contratados con otras operadoras, sumándole a la mejora de servicio una oferta comercial superadora, para incentivar dicha portación.

Pretendemos demostrar un aumento sustancial de facturación del cliente, el cual nos permitirá analizar si es factible asumir costos de instalación en forma total y parcial según la estrategia de negocio que necesitemos para cada cliente.

### **1.6. Organización de la PFI.**

La primera parte del trabajo comenzó explicando y fundamentando el porqué de la práctica final de ingeniería. Se planteó un escenario de crecimiento de demanda de datos y sus inconvenientes, para focalizarnos en el problema de cobertura en sectores indoor.

La segunda parte del trabajo continuará con un capítulo de teoría y tecnología donde desarrollaremos las tecnologías con las que esta pfi trabajara, su historia, evolución y conceptos técnicos más relevantes. Además se explicarán las tecnologías actualmente utilizadas para solucionar el problema de cobertura indoor y sus principales inconvenientes.

Luego se presentará un problema puntual, donde un cliente tiene problemas en sus servicios de voz y datos móviles. Analizaremos el problema y propondremos soluciones tecnológicas para solucionar el inconveniente, elegiremos una solución y la instalaremos, para luego mostrar los beneficios de la misma.

Una vez instalada la solución tecnológica propuesta, analizaremos el costo de la misma (instalación y materiales), los beneficios económicos que esta instalación aportara y si la misma es rentable o no.

## 2. Teoría y Tecnología.

En la introducción se contextualizo cual es la problemática técnica que le da fundamento a este trabajo, el contexto actual de la problemática de despliegue de redes móviles y a qué tipo de solución apuntamos para proponer una alternativa a un de inconvenientes de servicio puntual (zonas indoor).

En este capítulo repasaremos la evolución de las tecnologías móviles, actualidad, su marco legal para luego mostrar los aspectos teóricos que más resaltamos de las tecnologías móviles actualmente instaladas y soluciones de cobertura utilizadas para zonas puntuales.

### 2.1. Historia Redes móviles.

El servicio telefónico móvil comenzó a principios de la década de 1940, era costoso, técnicamente limitado y por lo tanto era inviable su masificación. En 1947 los laboratorios Bell experimentaron distribuir transmisores de baja potencia en un área grande pero limitada. Estos teléfonos móviles generalmente montados en automóviles funcionaban con válvulas de vacío y se requería de una conmutación humana para conectarse con las líneas fijas, su transmisión era analógica y utilizaba frecuencia modulada (Figura N° 9). Años posteriores se continuo con el desarrollo de nuevos avances en el campo de estudio de esta tecnología.

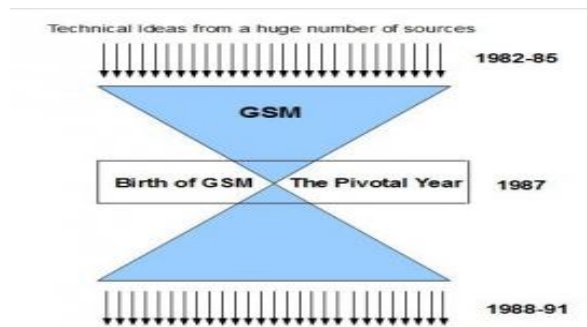


**FIGURA 9:** Historia de las redes Móviles.

**FUENTE:** [http://www.gsmhistory.com/who\\_created-gsm/](http://www.gsmhistory.com/who_created-gsm/)

Algunos hitos relevantes en el avance de la telefonía móvil fueron:

- (1979) En Chicago (Illinois, USA), se puso en servicio la primer red de radiotelefonía móvil celular. El sistema utilizado fue el Advance Mobile Phone Service (AMPS).
- (1981) Comienza a operar en Suecia, Noruega, Dinamarca y Finlandia el sistema llamado Nordic Mobile Telephone (NMT), que es el equivalente de AMPS.
- (1982) Se crea el grupo GSM del francés Groupe Special Mobile, para estudiar y desarrollar un sistema telefónico móvil terrestre y público, paneuropeo. (Figura N° 10)



**FIGURA 10:** Creación de grupo GSM.

**FUENTE:** [http://www.gsmhistory.com/who\\_created-gsm/](http://www.gsmhistory.com/who_created-gsm/)

- (1985) Se pone en servicio el sistema TACS (Total Access Communications), equivalente Británico derivado del AMPS.
- (1990) Se presenta un panorama de servicios de telefonía móvil donde coexistían una multitud de sistemas analógicos operados por varias empresas. La tabla N° 3 muestra un detalle de algunos estándares utilizados.

| Year | Standard | Mobile Telephone System                | Technology | Primary Markets         |
|------|----------|--|------------|-------------------------|
| 1981 | NMT 450  | Nordic Mobile Telephony                | Analogue   | Europe, Middle East     |
| 1983 | AMPS     | Advanced Mobile Phone System           | Analogue   | North and South America |
| 1985 | TACS     | Total Access Communication System      | Analogue   | Europe and China        |
| 1986 | NMT 900  | Nordic Mobile Telephony                | Analogue   | Europe, Middle East     |
| 1991 | GSM      | Global System for Mobile communication | Digital    | World-wide              |

**Tabla 3:** Estándares anteriores a GSM x región.

**FUENTE:** [http://www.gsmhistory.com/who\\_created-gsm/](http://www.gsmhistory.com/who_created-gsm/)

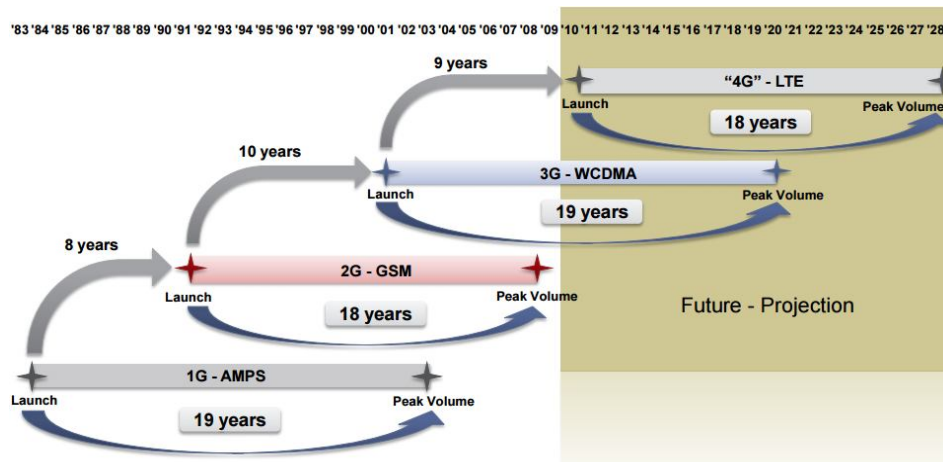
- (1990) Se Publicó la fase I de las especificaciones de GSM (Global System for Mobile communications).
- (1991) Comienza a operar el sistema GSM (Global System for Mobile communications), para 1993 había 36 redes GSM en 22 países.
- Comienza una era de evolución de tecnologías ordenada y regularizada, con grupos de colaboración teológica donde participan distintos miembros destacados del mercado de las telecomunicaciones. Todo con el fin de desarrollar estándares mundiales para asegurar la interoperabilidad de redes. Ejemplo 3GPP.

## 2.2. Estado del Arte.

La historia continua, y las tecnologías fueron avanzando pero los estudios y avances tiene como premisa la compatibilidad entre operadoras y la convergencia de redes fijo / móvil hacia un universo digital. Esta sección del trabajo repasara las evoluciones de las tecnologías de redes móviles.

### 2.2.1. GSM (Sistema Global de Telefonía Móvil).

El GSM es un sistema telefónico celular de segunda generación, desarrollado al principio para resolver los problemas de fragmentación inherentes da los sistemas de primera generación en Europa.



**FIGURA 11:** Evolución de las tecnologías de servicios de voz y datos.

**FUENTE:** <http://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2012/03/28062010175243.pdf>

Antes del GSM, todos los países europeos usaban distintas normas de telefonía celular, por lo que era imposible que un suscriptor de cualquier país usara un solo teléfono en toda Europa. El GSM fue el primer sistema telefónico celular totalmente digital, diseñado para usar servicios de la ISDN (Red digital de servicios integrados) para proporcionar una amplia gama de servicios de red.<sup>8</sup> La figura N° 11 muestra un detalle temporal de las distintas tecnologías móviles.

#### 2G.

- ✓ Utiliza TDMA y CDMA.
- ✓ Nacen los SMS.
- ✓ Permite encriptación de datos.

#### 2.5G.

- ✓ Transmisión de datos de 56 kbit/s a 155 kbits/s.
- ✓ Navegación WAP, envío de MMS y servicios IPV4.

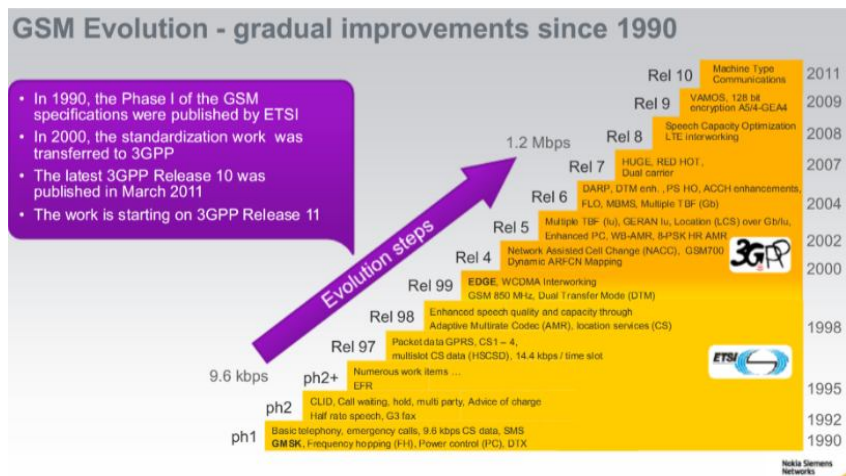
<sup>8</sup> Referencia: Sistemas de comunicaciones Electrónicas. Wayne Tommasi.(cuarta edición)

- ✓ Contempla tecnología de transmisión de datos GPRS.

**2.75G.**

- ✓ Velocidades alcanzables de transmisión de hasta 236 Kbits/s.
- ✓ Tecnología de transmisión EDGE.

La figura N° 12 muestra la evolución gradual de las versiones de GSM.



**FIGURA 12:** Evolución y revisiones de GSM.

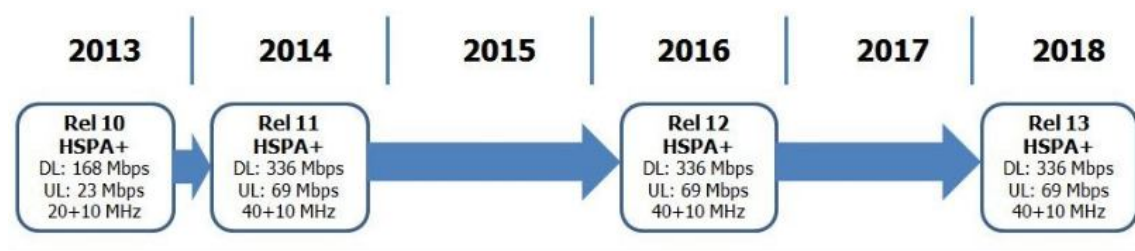
**FUENTE:** Peappers NOKIA-SIMENS Networks.

**2.2.2. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).**

Esta tecnología proporciona servicios de voz y datos, ampliando la capacidad de transmisión de su predecesora GSM y sus evoluciones, fue la propuesta Europea para la tercer generación de redes móviles, diseñado con una visión de inter operatividad entre operadores y retro compatibilidad con tecnologías anteriores (GSM). Esta tecnología tiene como objetivo principal brindar servicios de datos flexibles y mejorar la calidad del servicio de voz.

En 1996 se crea UMTS fórum, con el objetivo de investigar, facilitar y fomentar la implantación de sistemas de tercera generación.

Existen más de 550 redes comerciales con HSPA y/o HSPA+ en más de 200 países. Las redes HSPA iniciales ofrecían tasas máximas de 3.6 Mbps en el enlace descendente, mientras que la mayoría de las otras ofrecían 7.2 Mbps. Sin embargo, el avance continuo de parte de proveedores y operadores innovadores líderes permite la evolución a HSPA+ (Figura N° 13). Las primeras redes HSPA+ utilizaban modulación de 64 QAM y ofrecían 21 Mbps. El uso de esquemas de modulación de un orden mayor (de 16 QAM hasta 64 QAM), junto con tecnología MIMO, que convierte a HSPA en HSPA+, se desarrolló en el 3GPP Release 7.



**FIGURA 13:** Evolución UMTS.

**FUENTE:** 4G AMERICAS.

A continuación se presenta un resumen de los Releases (versiones) del 3GPP, su estado y los desarrollos de estándares, incluso HSPA/HSPA+:

- Release 5: HSDPA. Primera fase del Subsistema IP Multimedia (IMS). Capacidad de uso de transporte IP en lugar de solo modo de Transferencia Asíncronica (ATM) en la red.
- Release 5: Completo. HSDPA. Primera fase del Subsistema IP Multimedia (IMS). Plena capacidad de uso de transporte basado en IP en lugar de solo Modo de Transferencia Asíncronica (ATM) en la red central.
- Release 6: Completo. HSUPA. Soporte multimedia optimizado mediante Servicios Multimedia Broadcast/Multicast (MBMS). Especificaciones de performance para receptoras avanzadas. Opción de integración de Red de Área Local Inalámbrica (WLAN). Optimizaciones IMS. Capacidad VoIP inicial.
- Release 7: Completo. Brinda funcionalidad de datos GSM optimizada con EDGE Evolucionado. Especifica HSPA+, que incluye modulación de un orden mayor y MIMO. Optimizaciones al desempeño, mayor eficiencia espectral, mayor capacidad, y mejor

resistencia a la interferencia. La Conectividad Continua de Paquetes (CPC) habilita servicio eficiente “conectado en todo momento” y capacidad UL VoIP optimizada en el enlace ascendente, como así también reducciones en la demora al establecer la llamada para Push-to-Talk por Celular (PoC). Las optimizaciones de radiocomunicaciones a HSPA incluyen Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) 64 en el enlace descendente y 16 QAM en el enlace ascendente. También incluyen optimización de las capacidades MBMS mediante la función de red multicast/broadcast de frecuencia única (MBSFN).

- Release 8: Completo. Comprende nuevas funcionalidades HSPA Evolution tales como el uso simultáneo de MIMO y 64 QAM. Incluye HSDPA de doble portadora (DC-HSDPA) donde dos portadoras del enlace descendente pueden combinarse para duplicar el desempeño de throughput. Especifica LTE 3GPP basado en OFDMA. Define EPC y EPS.
- Release 9: Completo. Optimizaciones a HSPA y LTE que incluyen operación de doble portadora en el enlace descendente en combinación con operación MIMO, HSDPA de doble banda, operación HSPA de doble portadora en el enlace ascendente, optimizaciones EPC, soporte de femtoceldas, soporte para funciones regulatorias como posicionamiento del equipo de usuario en emergencias y Sistema de Alertas Comerciales Móviles (CMAS), y evolución de la arquitectura IMS.
- Release 10: Completo. Especifica LTE-Advanced en cumplimiento de los requisitos fijados por el Proyecto IMT-Advanced de la UIT. Algunas de sus funcionalidades clave son agregación de portadoras, optimizaciones multi-antena, como MIMO en el enlace descendente y ascendente optimizado, relevos, capacidad optimizada de Red Auto-optimizada (SON) LTE, eMBMS, optimizaciones para HetNet que incluyen Coordinación de Interferencia Inter-celda (eICIC), Acceso Local a Paquetes IP, y nuevas bandas de frecuencia. Para HSPA, incluye operación de cuatro portadoras y opciones MIMO adicionales. También incluye optimizaciones a femtoceldas, optimizaciones para comunicaciones M2M, y descarga local de tráfico IP.
- Release 11: Completo. Para HSPA, provee ocho portadoras en el enlace descendente, optimizaciones en el enlace ascendente para mejorar la latencia, formación de haz para dos antenas y MIMO, mejora de estado del Canal de Acceso Frontal de la Celda (FACH)



para tráfico de tipo smartphone, optimizaciones y transmisiones MIMO de cuatro ramas para HSDPA, 64 QAM en el enlace ascendente, transmisión multi-punto en el enlace descendente, y agregación de portadoras HSDPA no contiguas. Para LTE, el énfasis está en Multi-Punto Coordinado (CoMP), mejoras a la agregación de portadoras, dispositivos con cancelación de interferencia, desarrollo del Canal de Control Físico Mejorado en el Enlace Descendente (EPDCCH), y eICIC mejorado que incluye dispositivos con cancelación de interferencia CRS (Señal de Referencia por Celda Específica). El release incluye mejoras posteriores para LTE en DL y UL MIMO. Se promueve la integración de Wi-Fi mediante Movilidad S2a por Protocolo de Canalización GPRS (SaMOG). Un elemento adicional de la arquitectura llamado Función de Inter funcionamiento de Comunicaciones tipo Máquina (MTC-IWF) dará soporte más flexible a las comunicaciones de máquina a máquina.

En los despliegues actuales, los usuarios de HSPA periódicamente experimentan tasas de transmisión muy superiores a 1 Mbps en condiciones favorables, tanto en el enlace descendente como en el ascendente, con mediciones frecuentes de 4 Mbps en el enlace descendente y mejoras planificadas que duplicarán las tasas de transmisión máximas que puede alcanzar el usuario.

Además de las mejoras en la velocidad de transmisión (throughput), HSPA también reduce significativamente la latencia. HSPA con Intervalo de Tiempo de Transmisión (TTI) de 2 ms soporta una latencia tan baja como 30 ms.

HSPA/HPSPA+ pone a disposición de los operadores una tecnología eficiente de banda ancha móvil para satisfacer las necesidades inalámbricas avanzadas de los clientes. El trabajo de normalización desarrolló a HSPA+ hasta 336 Mbps a una tasa máxima teórica en caso de que los operadores elijan actualizar sus redes HSPA con la implementación de una serie de funcionalidades usadas en LTE.<sup>9</sup> (Fuente 4GAMERICAS.ORG)

---

<sup>9</sup> **Fuente:** <http://www.4gamericas.org/es/resources/technology-education/hspa-and-hspa/>

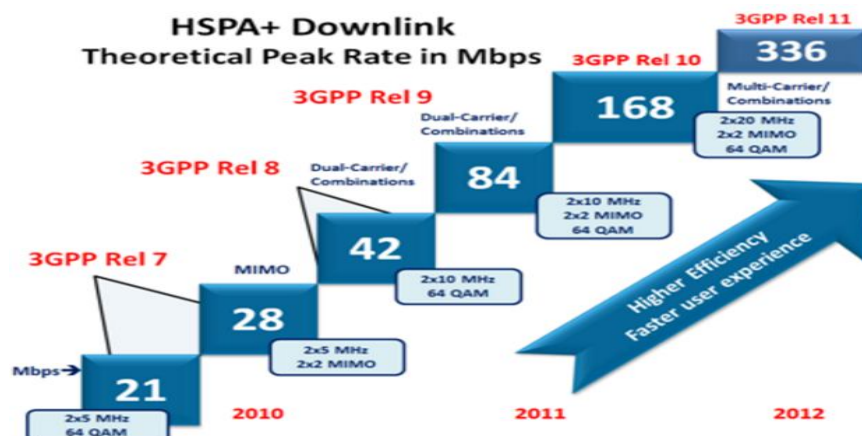


FIGURA 14: Aumento de capacidad UMTS.

FUENTE: 4G AMERICAS.

### 2.2.3. LTE (Long Term Evolution).

La cuarta generación de tecnologías de comunicación móvil 4G, se abrió paso con LTE (Evolución a largo plazo), esta tecnología se desarrolló en paralelo con su predecesora UMTS.

Como toda tecnología, cuanto mayor sea el espectro, mayor su eficiencia, algunos características técnicas de esta tecnología son las múltiples portadoras, tecnología de antenas avanzadas, Múltiple entrada Múltiple Salida (MIMO), multipunto coordinado, redes auto optimizadas, mejoras a celdas pequeñas.

Esta tecnología está pensada para trabajar en una Red IP completa y diseñada para soportar voz en el dominio de paquetes. Esta idea abre una controversia entre distintos especialistas ya que en la actualidad Argentina y otros países ofrecer servicios sobre sus redes LTE pero únicamente datos, todavía no voz y es por lo tanto que algunos autores aseguran que todavía el estándar utilizado no alcanza para llamarlo 4G y lo llaman 3.9G.

Algunas características de LTE son:<sup>10</sup>

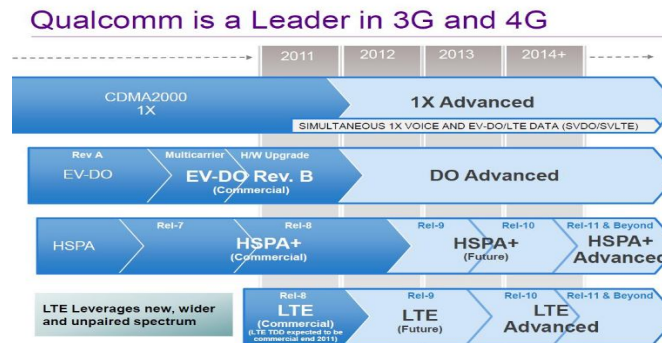
- Tasas de datos máximas en el enlace descendente de hasta 300 Mbps con ancho de banda de 20+20 Mhz.
- Tasas de datos máximas en el enlace ascendente de hasta 71 Mbps con ancho de banda de 20+20 MHz (Asume 64 QAM. O también 45 Mbps con 16 QAM).
- Opera tanto en modo TDD como FDD.

<sup>10</sup> Fuente: <http://www.4gamericas.org/es/resources/technology-education/lte/>

- Ancho de banda escalable hasta 20+20 MHz, cubriendo portadoras de radiotransmisión de 1.4, 3, 5, 10, 15, y 20.
- Eficiencia espectral incrementada en dos a cuatro veces respecto del Release 6 HSPA.
- Reducida latencia, a 15 mseg de tiempo de ida y retorno entre el equipo del usuario y la estación base.
- Capacidades de auto-optimización bajo el control del operador y preferencias que automatizarán la planificación de la red y darán lugar a menores costos para el operador.

LTE Advanced.

En el año 2008 la Unión Internacional de Telecomunicaciones definió los requisitos para el estándar IMT ADVANCE (International Mobile Telecommunications Advance), conocido como 4G. Alguna característica de este estándar es su alta eficiencia espectral (con picos de 15 bits por hercio en enlace descendente y de 6.75 en el ascendente)<sup>11</sup>. La figura N° 15 muestra la evolución de 3G a 4G.



**FIGURA 15:** Evolución de 3G a 4G.

**FUENTE:** 4G AMERICAS.

Las tasas teóricas de transmisión son de 1Gbps para usuarios con movilidad baja (a pie) o quietos y de 100 Mbps para usuarios con movilidad alta. Además LTE Advance permitirá alcanzar una eficiencia espectral de 30 bits por Hertz en canales de 40 Mhz.

Algunas corrientes afirman que LTE-Advanced es realmente 4G, mientras que otros expertos ya englobaban a LTE en dicha categoría, asignando a LTE-Advanced el término 5G,

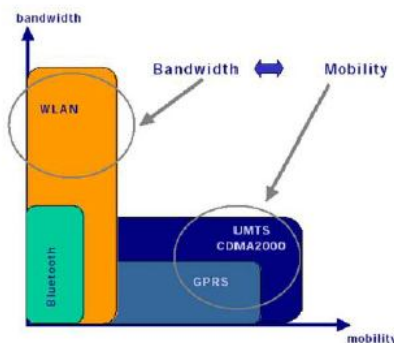
<sup>11</sup> **Fuente:** <http://www.xatakamovil.com/conectividad/lte-advanced-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-autentica-cuarta-generacion-de-la-internet-movil>

en correlación con lo que la ITU-T definen como IMT-Advanced: la nueva generación de comunicación global que brinda acceso a un alto número de servicios de telecomunicaciones basados en paquetes, soportado tanto en redes móviles como en redes fijas.<sup>12</sup>

### 2.3. Convergencia de Redes.

“En la lucha por la supervivencia los organismos que menos se adapten desaparecerán y los que mejor se adapten, sobrevivirán”. La idea principal de la Convergencia de Redes que utilizan medios guiados con Redes inalámbricas es fusionar lo mejor de cada mundo.

Las redes móviles tienen como fuerte su movilidad en diversos escenarios, mientras que su punto débil resultaba ser la capacidad de transmisión de las mismas. La figura N° 16 compara diversas tecnologías móviles (ancho de Banda vs movilidad).



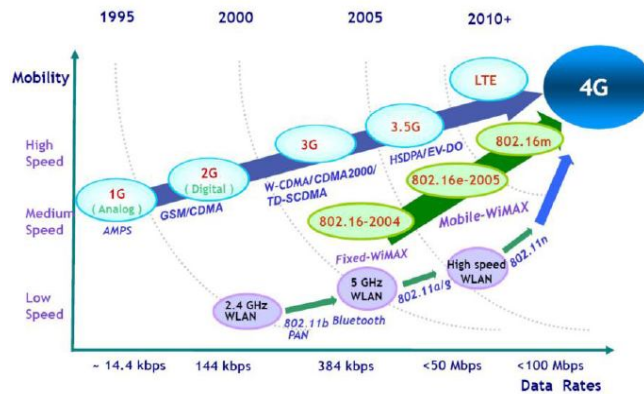
**FIGURA 16:** Capacidad Vs Movilidad de tecnologías inalámbricas.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

Las redes fijas, nos proporcionaba capacidad mucho más amplia pero su debilidad era su falta de movilidad, se necesitaba estar en un lugar puntual para acceder a estas redes.

Esta idea de convergencia de redes es una realidad, las evoluciones tecnológicas apuntan a estándares donde nos entreguen, movilidad, capacidad y calidad de servicio. En la actualidad los estándares de LTE Evolution (4G) persiguen este desafío. La figura N° 17 muestra esta evolución.

<sup>12</sup> **Fuente:** <http://www.iquall.net/doc/ES/whitepapers/LTE%20Whitepaper.pdf>



**FIGURA 17:** Hacia la convergencia de Redes.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

Además de una convergencia de redes, también estamos en presencia de una convergencia de terminales móviles (notebooks, tablets, Smartphones, etc.), que nos permitirá tener todos nuestros recursos en cualquier momento y lugar.

## 2.4. Marco Legal.

El 1º de diciembre de 2015 se crea el Ministerio de Comunicaciones que depende del poder ejecutivo Nacional, el mismo fue creado por el decreto 13/2015 (boletín oficial de la República Argentina). En la actualidad el titular de este ministerio es el Licenciado Oscar Aguad.

Algunas funciones del Ministerio de Comunicaciones son<sup>13</sup>:

- Mejorar la calidad de las comunicaciones.
- Universalizar el acceso de las comunicaciones.
- Generar un marco de competencia y pluralidad de expresión.
- Diseñar un marco regulatorio.

Anteriormente existían la AFTIC (Autoridad Federal de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones), creada en diciembre del 2014 y la AFSCA (Autoridad Federal de Servicios de Comunicación Audiovisual), estas autoridades fueron absorbidas por el Ministerio de Comunicaciones y los entes que dependen de este ministerio.

El ministerio de comunicaciones tiene bajo su órbita al ente de regulación ENACOM, la empresa ARSAT y el Correo oficial de la República Argentina.

<sup>13</sup> Fuente: <http://www.argentina.gob.ar/comunicaciones>

ENACOM (Ente Nacional de Comunicaciones) es un ente autárquico y descentralizado que funciona en el ámbito del Ministerio de Comunicaciones de la Nación. Su objetivo es conducir el proceso de convergencia tecnológica y crear condiciones estables de mercado para garantizar el acceso de todos los argentinos a los servicios de internet, telefonía fija y móvil, radio, postales y televisión.

ENACOM fue creado en diciembre del 2015 a través del Decreto 267 en el cual se establece su rol como regulador de las comunicaciones con el fin de asegurar que todos los usuarios del país cuenten con servicios de calidad.<sup>14</sup>

#### **2.4.1. Resolución N° 5/2013.**

En la actualidad el manual de procedimientos de auditoria y verificación técnica del reglamento de calidad de los servicios de telecomunicaciones publicado por el ENACOM establecer las pautas y requisitos que los prestadores de los servicios de telecomunicaciones deben cumplir con relación a las exigencias establecidas en el Reglamento de Calidad de los Servicios de Telecomunicaciones y disposiciones accesorias. Principalmente toma definiciones de la resolución de la ex SECOM N° 5/2013 el cual establece algunos parámetros básicos a la hora de definir indicadores calidad de servicio de voz y datos necesarios dentro de la red de los prestadores de servicio.

Accesibilidad de servicio (AS) para redes móviles  $\geq 95$  %

Retenibilidad de servicios (RS) para redes móviles  $\geq 97$  %

#### **2.4.2. Decreto 798/2016.<sup>15</sup>**

Durante la elaboración de esta práctica final el Poder Ejecutivo Nacional de la república Argentina, por medio del presidente Ing. Mauricio Macri, aprobó el Plan Nacional para el Desarrollo de Condiciones de Competitividad y Calidad de los Servicios de Comunicaciones Móviles (Decreto Nacional 798/2016).

Este plan se crea debido a la mala calidad de servicios móviles de comunicación, principalmente de voz originados por la falta de espectro radio eléctrico y la dificultad de conseguir sitios para la instalación de infraestructura de red móvil, más otros aspectos contextuales. El mismo reglamenta los siguientes puntos:

---

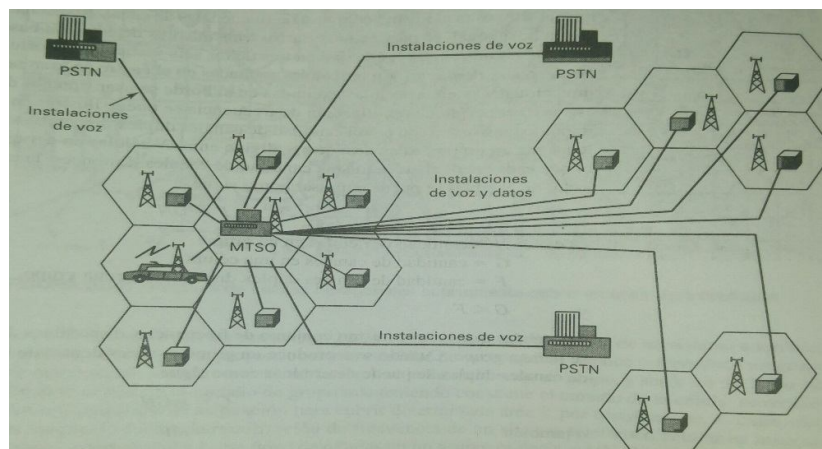
<sup>14</sup> Fuente: [http://www.enacom.gob.ar/que-es-enacom\\_p33](http://www.enacom.gob.ar/que-es-enacom_p33)

<sup>15</sup> Fuente: [http://www.enacom.gob.ar/multimedia/normativas/2016/Decreto-798\\_2016.pdf](http://www.enacom.gob.ar/multimedia/normativas/2016/Decreto-798_2016.pdf)

- **Mayor espectro a servicios móviles en el menor tiempo posible.** El decreto hace referencia a priorizar la ampliación de espectro, pero no define como y cuando realizar esta nueva asignación.
- **Compartir infraestructura y recursos.** Los prestadores deberán analizar compartir infraestructura edilicia y recursos para la mayor eficacia y economía en la prestación.
- **La agencia de administración de bienes del estado,** será el único organismo que podrá otorgar permisos de uso precario respecto a bienes inmuebles propiedad del ESTADO NACIONAL, independientemente de la jurisdicción de origen de los mismos.
- **Instalación de sistemas WiFi:** Con el fin de descongestionar las celdas saturadas se aconseja la instalación de sistemas WiFi para la descarga de tráfico de datos en ellos. Conocido como Offloading.
- **Instalación de Pico celdas:** Como una forma de ampliar la capacidad y mejorar la cobertura se aconseja la instalación de estos dispositivos de red tanto para gran densidad de clientes como en sitios indoor.  
Este punto refuerza la tarea de esta práctica final de ingeniería ya que un decreto presidencial reciente y vigente incentiva el despliegue de estos dispositivos.

## 2.5. Estructura Geográfica de una Red.

Un área geográfica se subdivide en células de forma hexagonal que encajan entre sí, formando una estructura de panel, como la que se puede observar en la siguiente figura.



**FIGURA 18:** División geográfica hexagonal.

**FUENTE:** Sistemas de comunicaciones electrónicas.

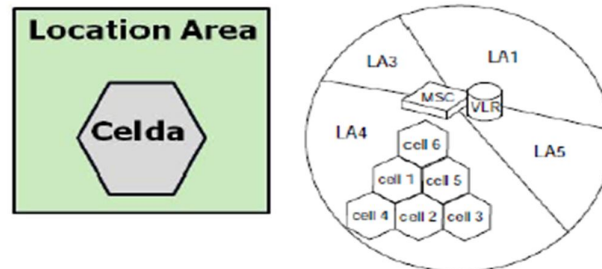
Se escogió esta forma hexagonal porque proporciona la transmisión más eficiente, al aproximarse a la forma circular y además eliminar los huecos inherentes a los círculos adyacentes.

Una célula se define por su tamaño geográfico, por el tamaño de su población y sus pautas de tráfico.<sup>16</sup>

De esta forma podemos definir Macro celdas, micro celdas, pico celdas y femtoceldas, las mismas se diferencian por su tamaño de cobertura y su potencia. Estas celdas pueden superponerse y suelen configurarse para darle servicio a dispositivos con movilidad más veloz (macro celdas) y dispositivos más estáticos o en una zona particular con el subconjunto restante.

### 2.5.1. Location Area (LA).

Se define como un grupo de celdas contiguas en una zona geográfica, la ubicación del abonado donde el mismo se encuentra tomando servicio se la conoce como Location Area (LA) (Figura N° 19) y esta ubicación se almacena en las bases de datos de la red (en el VLR)



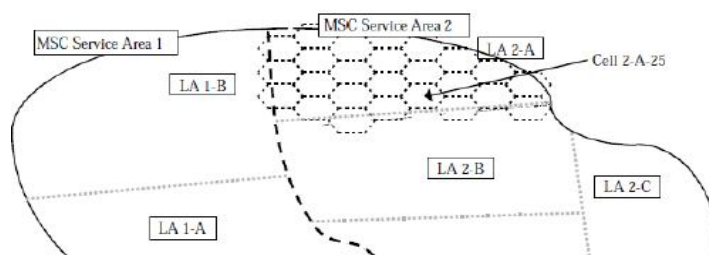
**FIGURA 19:** Location Area. Configuración.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

En la siguiente figura, se muestra la división geográfica por Location Area y su subdivisión por celdas.

<sup>16</sup> Fuente: Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición. Autor Wayne Tomasi





**FIGURA 20:** Locatio Area x Celda.

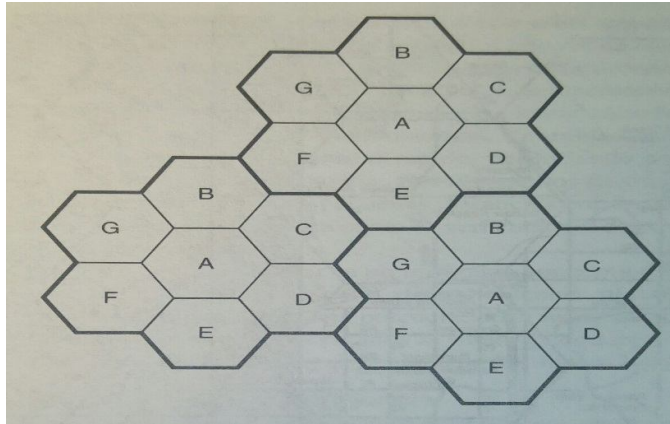
**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

## 2.6. Reutilización de Frecuencias.

La reutilización de las frecuencias es un proceso por el cual se puede asignar el mismo conjunto de frecuencias a más de una célula, siempre y cuando las células estén alejadas por cierta distancia. Al reducir el área de cobertura de cada célula se invita a la reutilización de frecuencias. Las células que usan el mismo conjunto de canales de radio pueden evitar la interferencia mutua, siempre que estén alejados lo suficiente.

A cada estación base de célula se le asigna un grupo de frecuencias de canal, distintas de los grupos de las células adyacentes, y se escogen las antenas de la estación base para lograr determinada distribución de cobertura (llamada generalmente huella de cobertura) dentro de su célula. Sin embargo, mientras un área de cobertura este limitada a las fronteras de una célula, se puede usar el mismo grupo de frecuencias de canal en una célula distinta siempre que las dos células estén separadas lo suficiente entre sí.

La figura N° 21 ilustra el concepto de reutilización de frecuencia celular, Las células con la misma letra utilizan el mismo conjunto de frecuencias de canal. Al diseñar un sistema de forma hexagonal, se pueden montar los transmisores de estación base en el centro de la célula o en tres de los vértices. A estos métodos de excitación de las células se los conoce como excitación en centro o excitación en borde, las primeras por lo general utilizan antenas omnidireccionales, mientras que el segundo tipo utiliza por lo general antenas direccionales sectorizadas.



**FIGURA 21:** Concepto de Reutilización celular de Frecuencias.

**FUENTE:** Sistemas de comunicaciones electrónicas.

El sistema planteado se puede expresar en forma matemática, considerando un sistema con cierta cantidad de canales dúplex disponibles. A cada área geográfica se le asigna un grupo de canales y se divide N células de agrupamiento único y ajeno, en la que cada célula tiene la misma cantidad de canales, Entonces la cantidad total de canales de radio disponible puede expresarse como:

$$F = G \cdot N$$

En donde:

N: Cantidad de Células de un Grupo.

G: Cantidad de canales de una célula.

F: Cantidad de canales dúplex disponible por grupo.

Y se debe cumplir con  $G > F$ .

Las células que usan el mismo conjunto de frecuencias disponibles de canal, en forma colectiva, se llaman grupo. Cuando se reproduce un grupo m veces dentro de un sistema, la cantidad total de canales dúplex se puede determinar como:

$$C = m \cdot G \cdot N$$

Donde:

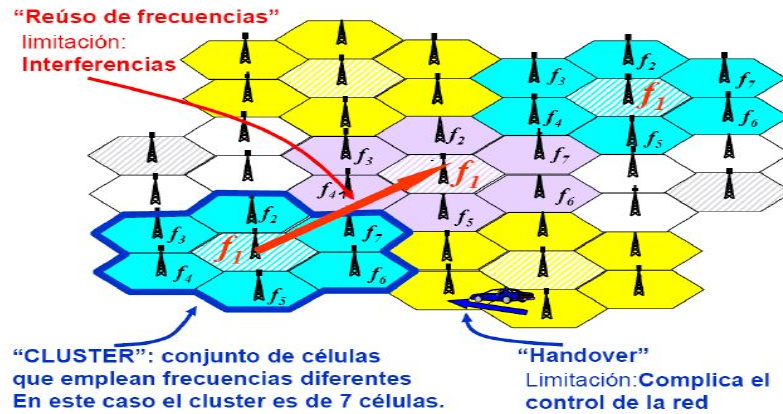
C: Capacidad de Canales.

m: Cantidad de unidades de asignación.

De acuerdo a esta ecuación, la capacidad de canales de un sistema telefónica celular es directamente proporcional a la cantidad de veces que se duplica o reproduce un grupo en

determinada área de servicio. Al factor N se lo suele llamar tamaño de grupo y suele ser de 3, 7 o 12.

Un buen despliegue de red, tiene que tener una buena asignación de frecuencias reutilizadas y una eficiente gestión de traspaso de llamadas (handover). (Figura N° 22).



**FIGURA 22:** Reutilización de frecuencias.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

### 2.6.1. Sectorización.

Es la división de una célula en sectores cada uno cubierto por una antena direccional.



### 2.7. Red GSM.

Esta tecnología de comunicación de segunda generación 2G, está basada en las especificaciones del grupo GSMA (<http://www.gsma.com/>) y es la tecnología más desplegada a nivel mundial, asegurando con esto la interoperabilidad de redes, en diversos países y en diversas empresas de telefonía móvil.

Esta tecnología es compleja ya que utiliza una cantidad amplia de protocolos, elementos, códigos, subdivisiones de módulos, interfaces, etc. Y todo esto para garantizar que se puedan brindar varios servicios sobre esta red.

La siguiente figura nos muestra cuan compleja puede ser.

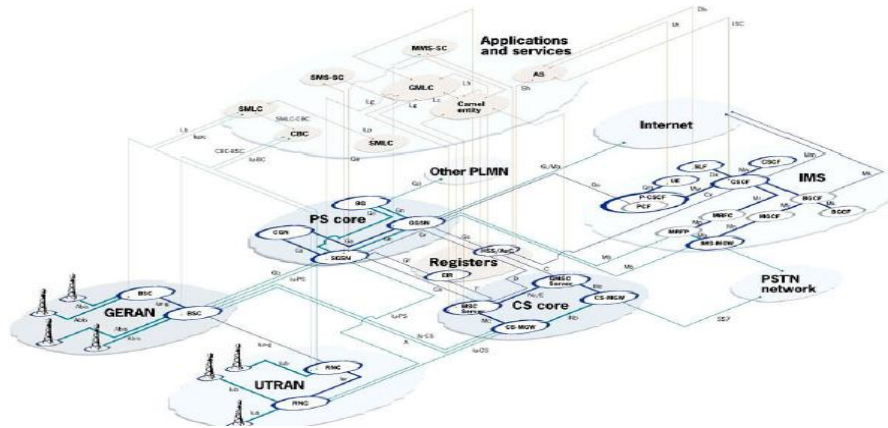


FIGURA 23: Panorama de topología red GSM.

FUENTE: Capacitación Interna Movistar Argentina.

En este apartado del trabajo realizaremos un resumen de los aspectos técnicos más relevantes para su funcionamiento.

Características generales de esta tecnología respecto a algunas tecnologías predecesoras:

- Transmisión de datos con distintas velocidades binarias.
- Interconexión con la red PSTN.
- Implementación de sistemas criptográficos. Mejorando su seguridad.
- Mejoras en la calidad de servicio. Uso de códigos para control de errores.
- Reducción de volumen y consumo de energía en terminales móviles.
- Terminales móviles de menor costo y más accesibles.
- Ampliación de servicios.
- Interoperabilidad entre redes. Permitiendo el roaming.

### 2.7.1. Bandas de espectro radioeléctrico.

Esta tecnología que es la más desplegada a nivel mundial trabaja en varias bandas del espectro radioeléctrico, siendo las bandas de 850/ 900 / 1900 MHz las más utilizadas.<sup>17</sup>

La tabla N° 4 nos muestra las frecuencias utilizadas para GSM.




<sup>17</sup> Fuente: <http://www.ldpost.com/telecom-articles/History-of-GSM-and-More.html>

| Sistema   | Banda | Uplink (MHz)  | Downlink (MHz) | Número de canal | Distancia Duplex | Canal   |
|-----------|-------|---------------|----------------|-----------------|------------------|---------|
| T-GSM-380 | 380   | 380.2–389.8   | 390.2–399.8    | dinámico        | 10 Mhz           | 250 KHz |
| T-GSM-410 | 410   | 410.2–419.8   | 420.2–429.8    | dinámico        | 10 Mhz           | 250 KHz |
| GSM-450   | 450   | 450.4–457.6   | 460.4–467.6    | 259–293         | 10 Mhz           | 250 KHz |
| GSM-480   | 480   | 478.8–486.0   | 488.8–496.0    | 306–340         | 10 Mhz           | 250 KHz |
| GSM-710   | 710   | 698.0–716.0   | 728.0–746.0    | dinámico        | 30 Mhz           | 250 KHz |
| GSM-750   | 750   | 747.0–763.0   | 777.0–793.0    | dinámico        | 30 Mhz           | 250 KHz |
| T-GSM-810 | 810   | 806.0–821.0   | 851.0–866.0    | dinámico        | 45 Mhz           | 250 KHz |
| GSM-850   | 850   | 824.0–849.0   | 869.0–894.0    | 128–251         | 45 Mhz           | 250 KHz |
| P-GSM-900 | 900   | 890.0–915.0   | 935.0–960.0    | 1–124           | 45 Mhz           | 250 KHz |
| E-GSM-900 | 900   | 880.0–915.0   | 925.0–960.0    | 975–1023, 0-124 | 45 Mhz           | 250 KHz |
| R-GSM-900 | 900   | 876.0–915.0   | 921.0–960.0    | 955–1023, 0-124 | 45 Mhz           | 250 KHz |
| T-GSM-900 | 900   | 870.4–876.0   | 915.4–921.0    | dinámico        | 45 Mhz           | 250 KHz |
| DCS-1800  | 1800  | 1710.0–1785.0 | 1805.0–1880.0  | 512–885         | 95 Mhz           | 250 KHz |
| PCS-1900  | 1900  | 1850.0–1910.0 | 1930.0–1990.0  | 512–810         | 80 Mhz           | 250 KHz |

**Tabla 4:** Frecuencias utilizadas para GSM.

**Fuente:** [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/145000\\_145099/145005/10.00.00\\_60/ts\\_145005v100000p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/145000_145099/145005/10.00.00_60/ts_145005v100000p.pdf)

En Argentina las operadoras con licencias habilitantes trabajan con las siguientes frecuencias. (Figura N° 24)

| Carrier  | 2G              |
|--|-----------------|
|  Claro    | 850MHz, 1900MHz |
|  Movistar | 850MHz, 1900MHz |
|  Nuestro  | 1900MHz         |
|  Personal | 1900MHz         |
|  Tuenti   | 850MHz, 1900MHz |

**FIGURA 24:** Bandas de frecuencia utilizadas en Argentina para GSM.

**Fuente:** <http://willmyphonework.net/>

### 2.7.2. Técnica de Acceso.

Se utiliza la técnica de FDMA (Frequency Division Multiple Access) y TDMA (Time Division Multiple Access) en forma simultánea. Esta técnica utiliza canales de frecuencia de 200 KHz (uno de bajada otro de subida) y ocho time slots por canal, de modo que 8 usuarios pueden compartir el mismo canal de frecuencia.

El canal cero en frecuencia por lo general se utiliza de guarda banda para separar este espectro de otras señales contiguas.

La siguiente figura nos muestra un ejemplo de configuración para bandas de 800 MHz y 1800 Mhz.

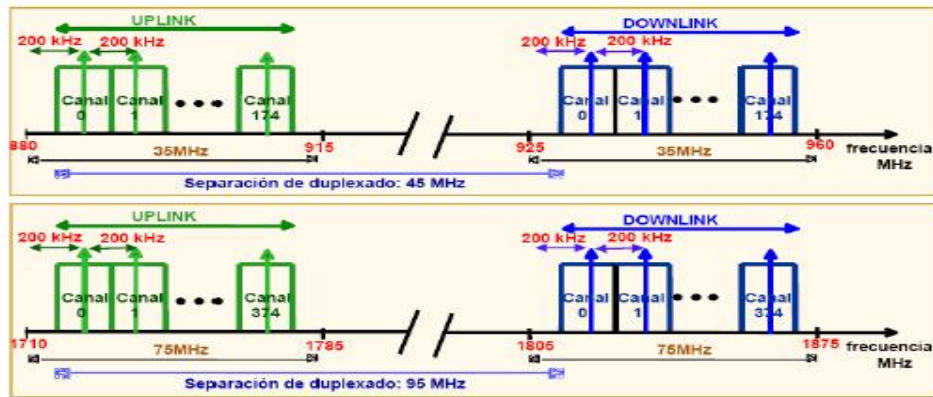


FIGURA 25: Ejemplo configuración de canales en frecuencia de subida y bajada.

FUENTE: Capacitación Interna Movistar Argentina.

La figura N° 26 muestra en más detalle la configuración de un canal de frecuencia con ocho terminales para cada time slot.

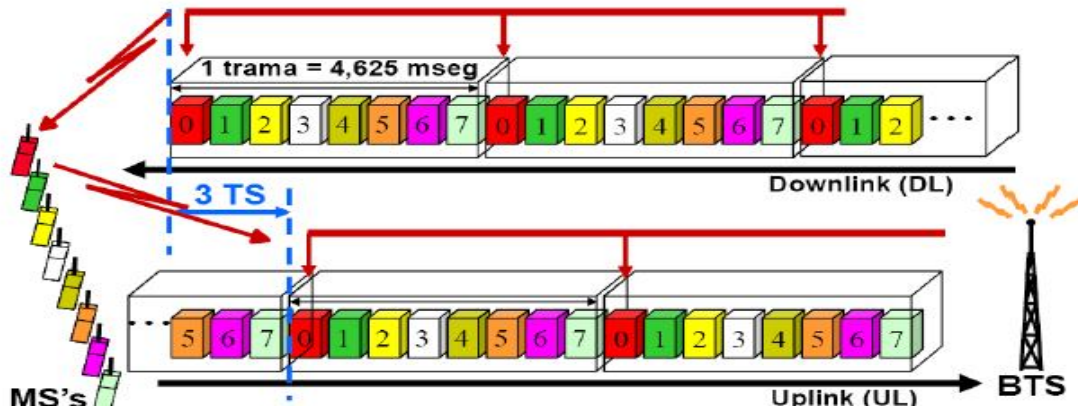


FIGURA 26: Ejemplo de configuración de Acceso FDMA y TDMA para GSM.

FUENTE: Capacitación Interna Movistar Argentina.

El grafico anterior nos muestra una configuración completa para un canal en frecuencia donde además podemos observar el desfase de tres time slot entre el canal Downlink y el Uplink, que se utiliza para retrasar el canal Up con el fin de realizar una alineación temporal adaptativa.

En cuanto a la modulación que se utiliza es la denomina GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), que es una variación del MSK (Minimum Shift Keying) en donde la fase cambia todavía más suavemente que en MSK.

Esta modulación transmite 1 bit por símbolo. GMSK permite la transmisión of 270kbit/s en un canal de 200kHz lo que da un densidad espectral de 1.3 bit/Hz.

Si bien la densidad espectral no se compara favorablemente con otros estándares móviles, GMSK ofrece una buena tolerancia a la interferencia y permite un re-uso apretado de frecuencias, lo que aumenta la capacidad de tráfico de la red.

### 2.7.3. Clasificación de terminales MS (Mobile Station).

Se puede clasificar por varios tipos y aplicaciones a los terminales móviles, pero una de sus clasificaciones si no la más importante son las frecuencias de trabajo en que el móvil puede funcionar. Esta división no es exclusiva de la tecnología GSM sino de las siguientes tecnologías más evolucionadas.

Entonces un terminal se clasifica en, mono banda y multi banda (dual banda, tri banda y cuatri banda), el primer tipo casi no se comercializa y si bien la mayor parte de los equipos son multi banda, tenemos que tener en cuenta que estas bandas son las utilizadas por las empresas prestadoras de servicio donde se desea utilizar el equipo. No solo para la prestadora de origen, sino más que todo cuando se viaja a otro país y se desea utilizar el dispositivo móvil en el país de viaje (roaming internacional). (Figura N° 27).

LG G4 características avanzadas



|         |             |  |
|---------|-------------|--|
| GENERAL | Red         | GSM 850 / 900 / 1800 / 1900 - HSDPA 850 / 900 / 1900 / 2100 - LTE 800 / 900 / 1800 / 2100 / 2600 |
|         | Anunciado   | 2015, Abril  |
|         | Status      | Disponible   |
| TAMAÑO  | Dimensiones | 148.9 x 76.1 x 9.8 mm  |
|         | Peso        | 155 g  |
| DISPLAY | Tipo        | LCD IPS Quantum, touchscreen capacitivo, 16M colores   |
|         | Tamaño      | 1440 x 2560 pixels, 5.5 pulgadas   |

**FIGURA 27:** Características Técnicas de Red LG G4.

**FUENTE:** <http://www.smart-gsm.com/moviles/lg-g4>

### 2.7.4. Arquitectura GSM.

Ahora explicaremos de que módulos cuenta GSM y un resumen de que función cumplen cada uno de ellos. La figura N° 28 muestra todos los componentes con sus interfaces.

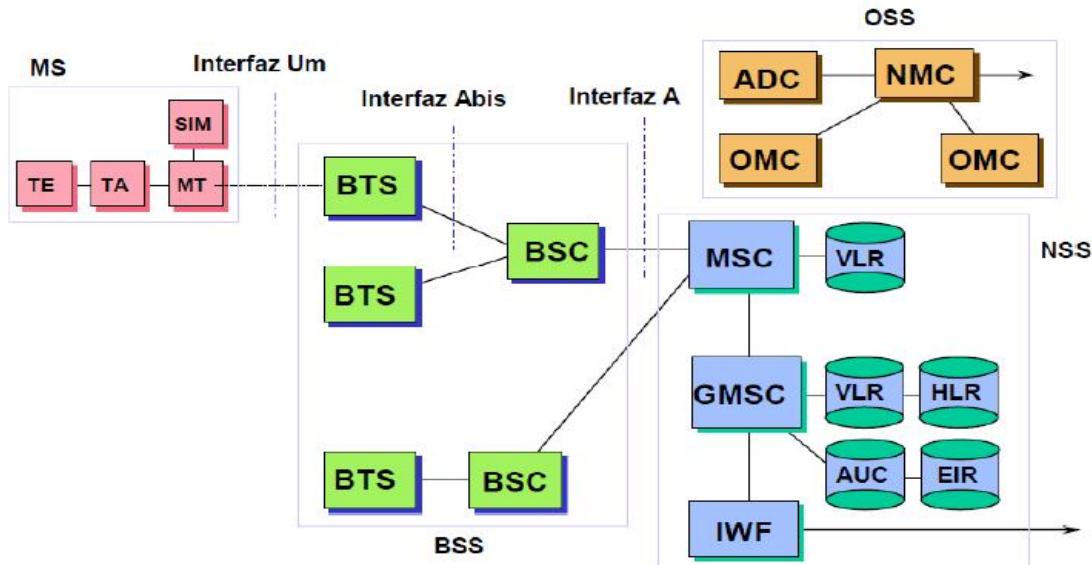


FIGURA 28: Arquitectura de una Red GSM.

FUENTE: Capacitación Interna Movistar Argentina.

*MS (Mobile Station)*

Es el elemento que está en contacto con el usuario final con el usuario, es por eso que proporciona una interfaz entre el usuario y el sistema GSM, en cuanto a su hardware mínimamente cuenta con un teclado, micrófono, altavoz, además cuenta con el modulo RF y procesadores de señal.

Además este terminal cuenta con los siguientes subsistemas:

MT: Mobile termination, que realiza funciones de Radio, codificación y decodificación, transmisión y recepción, corrección de errores y otros.

TE: Terminal equipment, no contiene ninguna función específica en GSM, pero los Smartphones supieron evolucionar con varias aplicaciones extra estos dispositivos (cámaras, sonido, auriculares, mejores procesadores de video, etc).

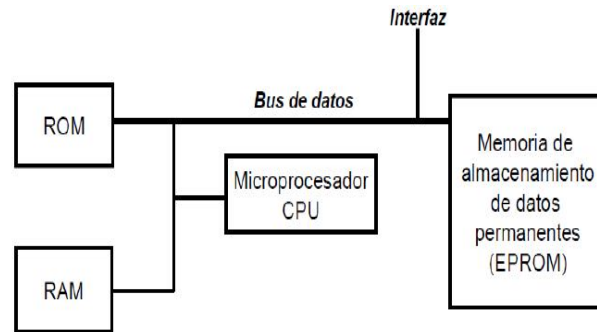
TA: Terminal adapter, proporciona la comunicación entre el TE y MT.

SIM: Modulo de identificación del Abonado. Es el alma del MS ya que le proporciona identidad, contiene el IMSI (International Mobile Subscriber Identifier), sin la SIM el MS



solamente se puede utilizar para servicios de emergencia. Además contiene información de seguridad (Claves secretas, algoritmos) y datos del sistema y abonado.

El SIM es un chip con el siguiente esquema de alto nivel. (Figura N° 29)



**FIGURA 29:** Esquema SIM alto nivel.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

En cuanto a su tamaño está disponible en cuatro tamaños que son el Tamaño completo, Mini SIM (más popular), Micro SIM y Nano SIM. Existe un tamaño incluso más chico que se llama Embedded Sim, utilizados en dispositivos M2M. (Figura N° 30)

**Tamaños tarjetas SIM**

| Tarjeta SIM     | Estándar                          | Largo (mm) | Ancho (mm) | Espesor (mm) |
|-----------------|-----------------------------------|------------|------------|--------------|
| Tamaño completo | ISO/IEC 7810:2003, ID-1           | 85.60      | 53.98      | 0.76         |
| Mini-SIM        | ISO/IEC 7810:2003, ID-000         | 25.00      | 15.00      | 0.76         |
| Micro-SIM       | ETSI TS 102 221 V9.0.0, Mini-UICC | 15.00      | 12.00      | 0.76         |
| Nano-SIM        | ETSI TS 102 221 V11.0.0           | 12.30      | 8.80       | 0.67         |
| Embedded-SIM    | JEDEC Design Guide 4.8, SON-8     | 6.00       | 5.00       | <1.0         |

**FIGURA 30:** Tabla de estándares SIM.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

Algunos datos más que tienen el modulo SIM son:

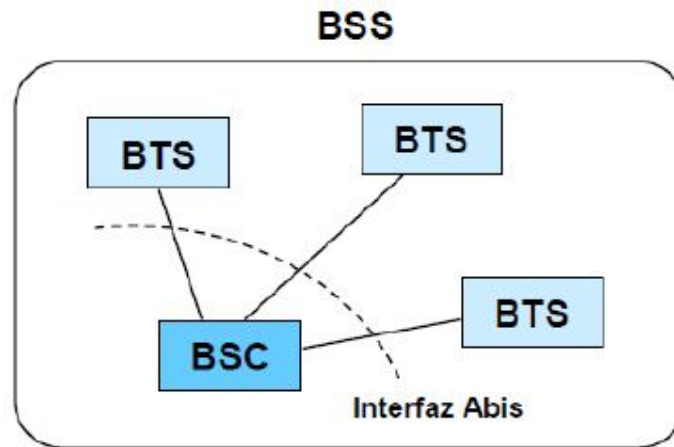
|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Datos administrativos</b>          | <b>PIN/PIN2:</b> Número de identificación personal          |
|                                       | <b>PUK/PUK2:</b> Clave de desbloqueo del PIN                |
|                                       | <b>Tabla SIM:</b> Servicios y funcionalidades SIM           |
|                                       | <b>Idioma:</b> al encender el móvil                         |
| <b>Datos relativos a la seguridad</b> | <b>Algoritmos A3 y A8:</b> Autenticación y obtención de Kc  |
|                                       | <b>Clave Ki:</b> valor individual conocido en SIM y HLR     |
|                                       | <b>Clave Kc:</b> Resultado de A8, Ki y el número RAND       |
|                                       | <b>CKSN:</b> Número de secuencia de la clave de cifrado.    |
| <b>Datos del abonado</b>              | <b>IMSI:</b> Identificador del abonado móvil internacional  |
|                                       | <b>MSISDN:</b> número ISDN del abonado                      |
|                                       | Clase de control de Acceso                                  |
| <b>Datos de Roaming</b>               | <b>TMSI:</b> Identidad temporal del abonado móvil           |
|                                       | Valor de <b>T3212:</b> actualización de localización.       |
|                                       | <b>LAI:</b> Información del área de localización y estatus. |
|                                       | <b>NCC</b> (códigos de color de red) o PLMNs restringidas   |
| <b>Datos de la Red móvil</b>          | <b>NCC, MCC y MNC,</b> códigos del país, red y color de red |
|                                       | <b>ARFCNs:</b> Números de los canales de radiofrecuencia    |

**Tabla 5:** Listado de datos que contiene un módulo SIM.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

*BSS (Base Station Subsystem)*

El subsistema de estación base (BSS), es el encargado de gestionar los recursos y enlaces de radio. Su misión es conectar la MS con la red. Se compone de una o más BTS (Base Transceiver Station) y una BSC (Base Station Controller). (Figura N° 31).



**FIGURA 31:** Esquema de elementos de una Base Station Subsystem (BSS).

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

*BTS (Base Transceiver Station).*

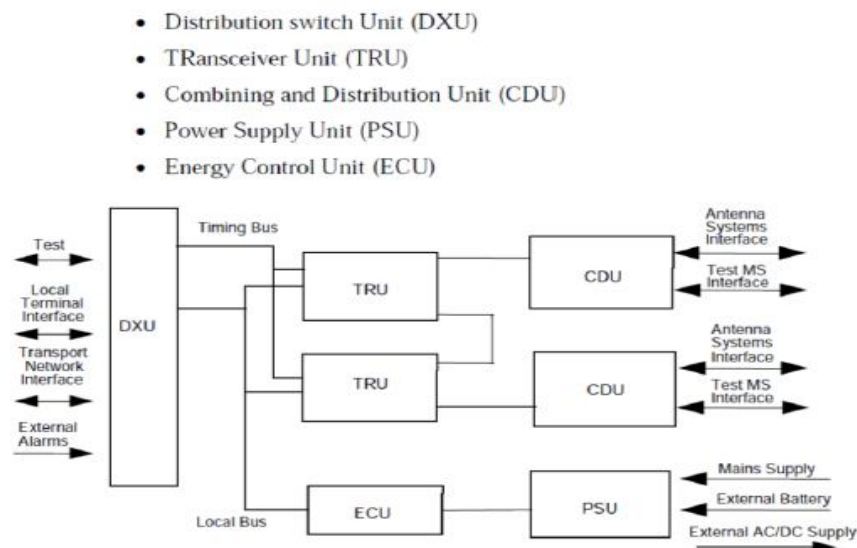
Suele denominarse generalmente estación base y está constituida por los equipos transmisores / receptores de radio (transceptores), los elementos de conexión al sistema radiante, las antenas y las instalaciones accesorias (pararrayos, toma a tierra, etc.).

LA BTS tiene que ser lo más simple posible y fiable. Debe ser instalada en lugares de difícil acceso.

Sus funciones son:

- Formación de la trama TDMA GSM.
- Realiza medidas de señal de radio provenientes del MS.
- Establece el enlace de radio con el usuario móvil. (modulación, demodulación, codificación, etc.)
- Sincronización y control de potencia.
- Operación y mantenimiento.

La siguiente figura nos muestra cómo se conforma una BTS de la empresa Ericsson.



**FIGURA 32:** Esquema modular de BTS ERICSSON.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

Como se mencionó en los párrafos anteriores, una BSS puede estar formada por varias BTS pero con una sola controladora llamada BSC, la cual explicaremos en el siguiente párrafo.

*BSC (Base Station Controller).*

Constituye el primer nivel de concentración de tráfico hacia la red, optimizando los recursos de Transmision hacia la misma. Gestiona y controla las BTS hasta varias decenas.

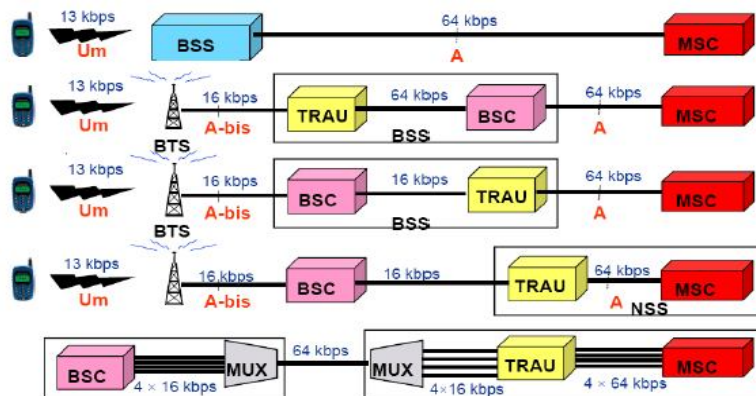
Sus funciones son:

- Controlar la interfaz de radio por comandos remotos (de BTS y MS).
- Conexión con las BTS que controla y con la red MSC (Mobile Switching Center).
- Asigna y libera canales de radio.
- Gestiona el traspaso de llamadas entre las BTS que controla (Handover).
- Control de potencia, cifrado.
- Reenvía mensajes entre el móvil y el NSS (Network and Switching Subsystem).

*TRAU (Transcoder and Rate Adaptation Unit).*

Si bien este elemento no se encuentra reflejado en el gráfico de la arquitectura presentada, se utiliza en distintas partes de la red. Este elemento actúa de multiplexor de 16 kbps en canales de 64 kbps y se utiliza porque permite un ahorro en recursos de transmisión. Este elemento adapta tramas utilizadas en GSM a las tramas de voz de redes fijas.

Puede utilizarse en el BSS en la interfaz A, en la interfaz A-bis o en el NSS en la interfaz A. (Figura N° 33).



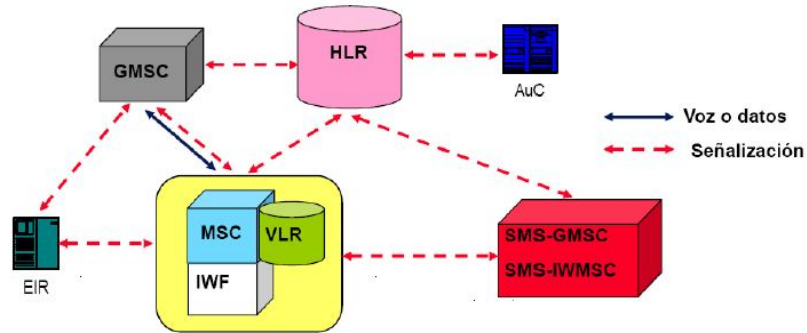
**FIGURA 33:** Alternativas de conexión para adaptador TRAU.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

*NSS (Network and Switching Subsystem).*

Es la parte de GSM que incluyen las funciones necesarias para conmutar las llamadas y las bases de datos propias del sistema que permite el establecimiento de las mismas.

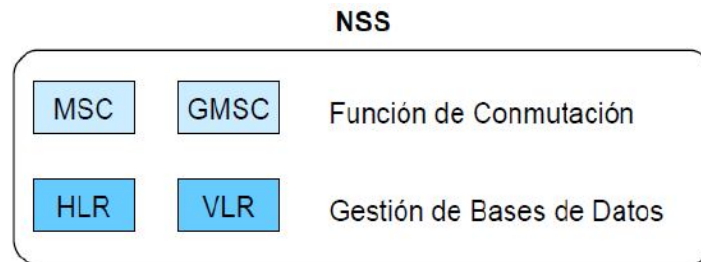
Los componentes de este sistema son presentados representativamente por la Figura N° 34.



**FIGURA 34:** Elementos del Subsistema de conmutación NSS.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

El NSS, tiene dos subsistemas, tiene dos funciones, la función de conmutación realizadas por MSC/GMSC y la función base de datos realizadas por HLR/VLR. (Figura N° 35)



**FIGURA 35:** Funciones del NSS.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

MSC/VLR aunque su funcionamiento es diferente están relacionados estrechamente. MSC (Mobile Service Switching Center).

Es el componente central del NSS y se encarga de realizar labores de conmutación de la red y señalización básicas:

- Realiza la gestión completa desde el las llamadas desde y hacia usuarios GSM (establecimiento, encaminamiento, control y finalización).
- Realizar el traspaso entre dos BSC que estén conectadas a el o a otro MSC.
- Proporcionar el control de autenticación y de la actualización de posición de los móviles, la prestación de servicios suplementarios y la tarificación de las llamadas.

**VLR (Visitor Location Register).**

Es la base de datos donde se guarda la información temporal de cada cliente que se encuentra en el área de influencia de los MSC. Se guarda datos de información de los clientes como el IMSI o el TMSI, datos para el encaminamiento como el MSRN, servicios contratados, tripletas de autenticación, etc.

**HLR (Home Location Register).**

Base de datos distribuida que contiene información estática relativa al servicio de todos los clientes de la red y también información dinámica, como MSC y VLR en que se encuentran, el número C en caso de desvío de llamada y tripletas de autenticación.

**GMSC (Gateway Mobile Switching Center).**

Es un nodo que permite interrogar al HLR para obtener información de encaminamiento para una llamada dirigida a un móvil. Por lo tanto es el nexo de unión de la Red GSM con otras redes externas.

**AuC (Authentication Center).**

Gestiona los datos de seguridad y la autenticación de los usuarios. Proporciona al HLR tripleta de autenticación (RAND, SRES, Kc) que permite la autenticación del móvil en cada MSC/VLR. Guarda la clave de autenticación de identificación individual de cada usuario, Ki.

**EIR (Equipment Identity Register).**

Registro de identificación de equipos. Su función consiste en evitar que utilicen equipos móviles no autorizados (por ejemplo robado o por que pueden producir perturbaciones) en la red. Para la comprobación se utiliza el IMEI o identificación internacional del equipo.

IWF (InterWorking Function): Entidad funcional asociada al MSC. Proporciona los medios necesarios para el inter funcionamiento de la red GSM con las redes externas fijas (PSTN, IDNS, etc.).

**Servicios de SMS (Short Message Service).**

GSM tiene la posibilidad de ofrecer a sus usuarios el servicio de mensajes cortos SMS. Los mensajes cortos pueden ser de dos tipos punto a punto o desde la red a un conjunto de móviles (broadcast).

Además la arquitectura GSM tiene integrada la Central de Servicio de Mensajes Cortos o SMSC (siglas en inglés de Short Message Service Center).

### 2.8. Red GPRS.

La tecnología GPRS (General Packet Radio Service), permite ofrecer el servicio de transmisión de datos. Esta tecnología se basa en la Conmutación de paquetes y se puede asignar distintos niveles de calidad de servicio, se tarifa en función al volumen de la información. GPRS aprovecha la arquitectura de GSM compartiendo la red de acceso. Se introducen nuevos elementos en el núcleo de la red. La figura N° 36 detalla los elementos.

Para implementar esta tecnología dentro de una red GSM ya instalada se deben realizar algunas modificaciones de software y hardware en algunos elementos.

Se deben actualizar software en los MSC, VLR y HLR. Además también en BSC. Y se debe modificar el hardware también en BSC además de los elementos adicionales que se deben integrar.

Los elementos que se introducen en el núcleo de red son:

- **SNSG** (Serving GPRS Support Node): Encargado de entregar los paquetes de datos en el terminal móvil.
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node): Es la interfaz lógica hacia redes de datos externas.
- Además se deben definir algunas nuevas interfaces.

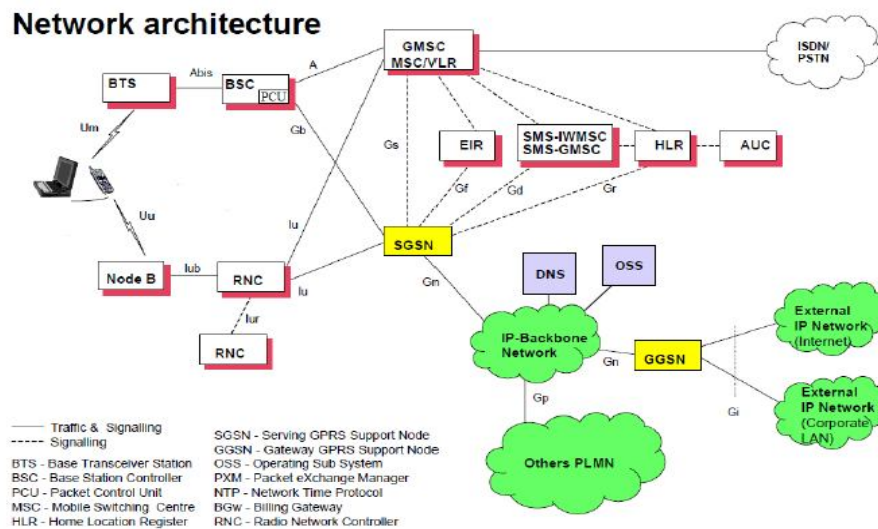


FIGURA 36: Arquitectura GPRS.

FUENTE: Capacitación Interna Movistar Argentina.

## 2.9. Red UMTS.

La tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), es una tecnología de tercera generación con características generales superiores a su predecesora GSM tales como capacidad de servicios multimedia, mayor velocidad de transferencia de datos y mejor la calidad de llamadas de voz.

Esta tecnología está basada en el acceso al medio por división de código de banda ancha WCDMA (Wideband Code Multiple Access).

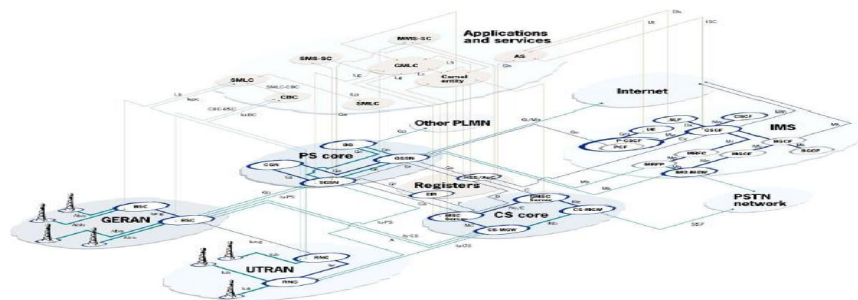
Con el fin de unificar esfuerzos para la creación de un sistema estándar de tercera generación se crea el organismo 3GPP (Figura N° 37), encargado de brindar las especificaciones del estándar a desplegar.



**FIGURA 37:** Iniciativa global de estandarización.

**FUENTE:** <http://www.3gpp.org>

Esta nueva tecnología fue pensada para trabajar en conjunto con su predecesora y que los terminales de usuario móviles puedan tener ambas tecnológicas. Si bien el despliegue modifica en mayor medida tanto el hardware como el software de los elementos en la red de acceso, esta nueva red implicó un costo elevado, los nuevos servicios esperados superaron dichos costos. La figura N° 38 nos muestra la integración de la red UMTS con la red GSM.



**FIGURA 38:** Integración de redes UMTS con GSM.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.



### 2.9.1. WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access).

Esta Tecnología de acceso al medio proporciona mayor eficiencia espectral, por lo que puede brindar mayor transmisión de datos.

Esta tecnología está formada por un grupo de técnicas de acceso múltiple por división de código (CDMA), esta técnica permite que todos los usuarios puedan transmitir en forma simultánea por lo que no existe un tiempo particular para transmisión y puede transmitir en la misma banda de frecuencia. Los usuarios son discriminados por un código de transmisión univoco. Antes de ser enviada la señal, se multiplica bit a bit por el código univoco que la va a identificar, este código también suele llamarse código de ensanchamiento de señal.

La unidad en la que se expresa el código es el Chips/segundo, para diferenciarla de las unidades binarias de información y se entienda que se trata del código univoco. Por lo general el código utilizado es de 3840 KChips/seg.

Para recuperar la señal lo que se hace es multiplicar la señal recibida por el mismo código univoco con el que ensancho la señal a transmitir, esto nos devuelve la misma señal enviada. El resto de las señales enviadas y ensanchadas con otros códigos, permanecen de esta forma y se comportan como ruido. (Figura N° 39)

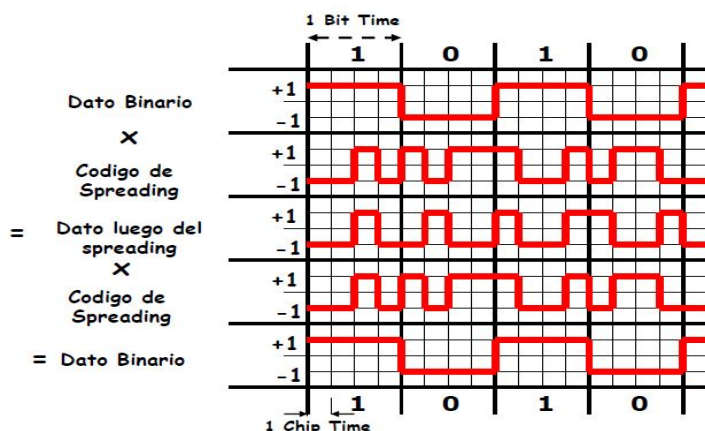


FIGURA 39: Ejemplo de CDMA.

FUENTE: Capacitación Interna Movistar Argentina.

Existen dos modos de operación para WCDMA:

- Modo FDM: Se utilizan frecuencias diferentes de enlace de subida y enlace de bajada separadas por 1900 MHz.

- Modo TDM: donde los enlaces tanto de subida como de bajada utilizan la misma frecuencia pero están separadas en el tiempo. (Figura N° 40)

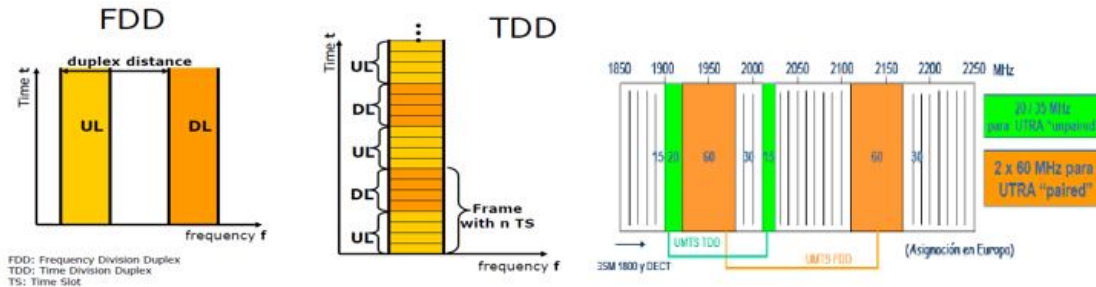


FIGURA 40: WCDMA en FDD y TDD.

FUENTE: Capacitación Interna Movistar Argentina.

### 2.9.2. Ensanchado y Modulación WCDMA.

A nivel físico WCDMA se basa en el ensanchado de la secuencia de datos con una multiplicación con una secuencia de código único. En realidad este proceso se realiza en dos pasos, utilizando para ello dos códigos diferentes. Un código de canalización o ensanchado (channelization code o spreading code) y un código de aleatorización (scrambling code). (Figura N° 41)

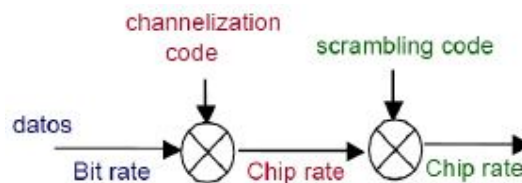
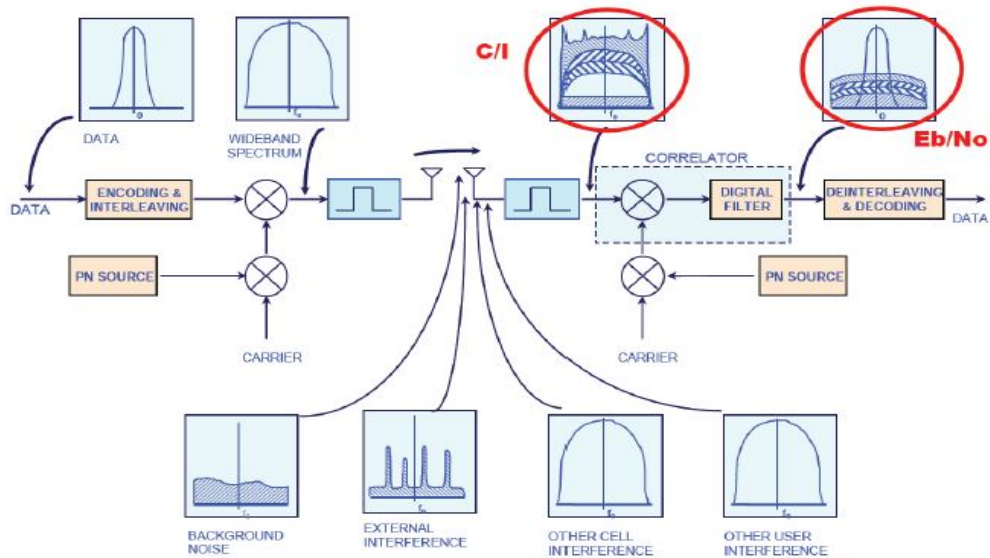


FIGURA 41. Ensanchado y modulación de WCDMA.

FUENTE: Capacitación Interna Movistar Argentina.

Los códigos de canalización son códigos ortogonales de longitud variable. El problema de estos códigos es que presentan altos valores de correlación cruzada (Correlación entre dos códigos ortogonales desplazados en el tiempo). De ese modo, una estación base tendrá problemas para separar las señales de diferentes móviles, que llegan con diferentes retardos de propagación.


La siguiente figura nos muestra un sistema el procesamiento de la señal WCDMA interactuado con interferencias y ruido.



**FIGURA 42:** Ensanchado/ des ensanchado +Modulación / Demodulación de WCDMA+ ruido + interferencia.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar Argentina.

En argentina las distintas prestadoras de telecomunicaciones utilizan las siguientes bandas de frecuencia de 3G. (Figura N° 43).

| Carrier  | 3G                |
|--|-------------------|
|  Claro    | ✓ 850MHz, 1900MHz |
|  Movistar | ✓ 850MHz, 1900MHz |
|  Nuestro  | ✓ 1900MHz         |
|  Personal | ✓ 850MHz, 1900MHz |
|  Tuenti   | ✓ 850MHz, 1900MHz |

**FIGURA 43:** Frecuencias UMTS en Argentina.

**FUENTE:** <http://willmyphonework.net/>

### 2.9.3. Arquitectura UMTS.

En este resumen se explicarán cuales son módulos y sus funciones y como estos interactúan con la arquitectura GSM. (Figura N° 44).

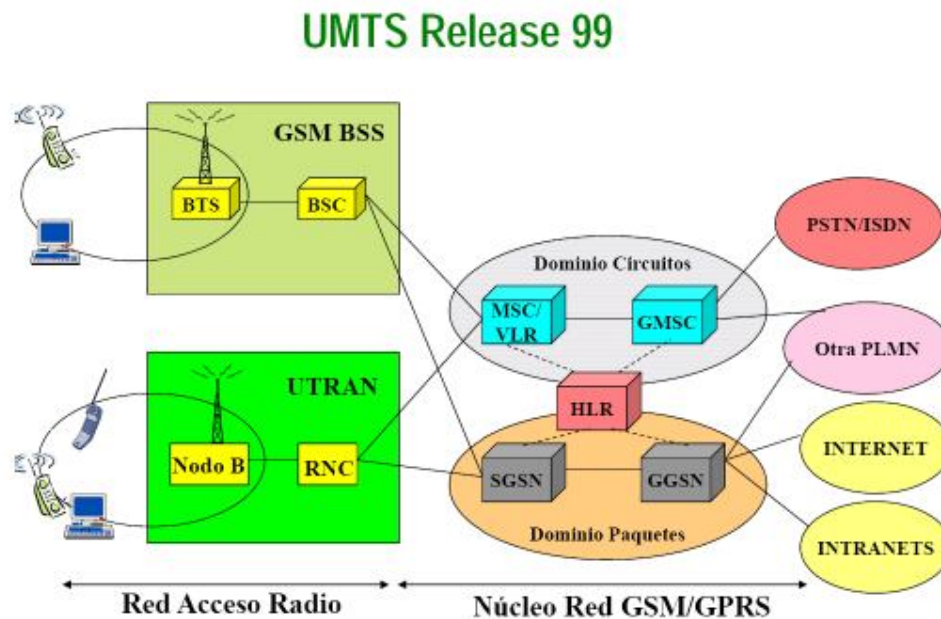


FIGURA 44: Arquitectura UMTS (Release 99).

FUENTE: Capacitación Interna Movistar Argentina.

Funcionalmente, los elementos de red se agrupan en:

- **Red de Acceso Radio** (RAN, Radio Access Network o UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network): Lleva a cabo toda la funcionalidad relacionada con el acceso radio. Una UTRAN se compone de uno o varios RNSs (Radio Network Subsystems), cada uno de los cuales está constituido a su vez por un RNC (Radio Network Controller) y una o varias estaciones base, denominadas, según la nomenclatura 3GPP, Nodos B.
- **Núcleo de Red** (CN: Core Network): Es el responsable de conmutar y encaminar las llamadas y las conexiones de datos hacia las redes externas.
- **Terminal de Usuario** (UE: User Equipment): Se compone de dos partes el ME (Mobile Equipment), que es el terminal radio capaz de establecer las comunicaciones a través de la interfaz aire, y el USIM (UMTS Subscriber Identity Module), que es una tarjeta

inteligente que contiene la identidad del usuario, realiza los algoritmos de autenticación y almacena las claves de autenticación y cifrado, así como cierta información de suscripción necesaria para el terminal.

## **2.10. Red LTE.**

En paralelo a la evolución de HSPA, el 3GPP ha especificado una nueva tecnología de acceso radio, conocida como Long-Term Evolution (LTE). Para sustentar las nuevas capacidades de transmisión de paquetes de datos proporcionadas por las interfaces de radio LTE, se ha desarrollado una red troncal evolucionada, conocida como System Architecture Evolution (SAE). Las especificaciones de LTE están contenidas en la R8, cerrada en diciembre de 2008.

Características de esta tecnología:

- Optimización del dominio de red de conmutación de paquetes.
- Retardo de ida y vuelta entre el servidor y el UE inferior a 30 ms y retardo en el acceso inferior a 300 ms.
- Tasas pico de DL de 100 Mbps y UL de 50 Mbps para un ancho de banda de 20 MHz. Para anchos de banda menores, esta tasa se reduce proporcionalmente, consiguiéndose eficiencias espectrales de 5 bps/Hz en DL y de 2.5 bps/Hz en UP. (teóricas)
- Posibilidad de trabajar con diferentes anchos de banda: 1.25; 2.5; 5; 15 y 20 MHz.
- Capacidad superior en un factor entre 3 y 4 respecto a HSDPA y entre 2 y 3 respecto a HSUPA.
- Mejora de la eficiencia en potencia de los terminales.
- Posibilidad de realizar despliegues adyacentes a WCDMA.
- Buenos niveles de movilidad y seguridad.
- Las opciones de acceso múltiple con las que trabaja son:
  - OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) para Downlink.
  - SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) para Uplink.

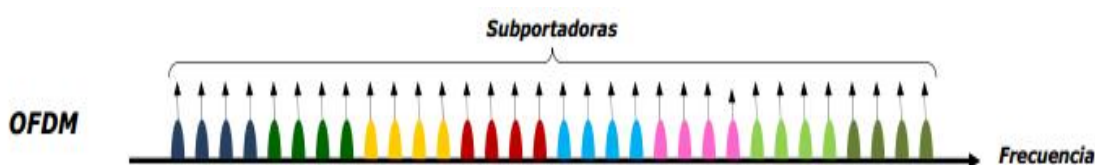
- Las ventajas de OFDMA son el mayor ancho de banda y flexibilidad para usar diferentes anchos de banda de espectro y se puede realizar un scheduling de frecuencias de acuerdo a la interferencia que sufre cada soportadora.
- Utilización de sistemas multi antena MIMO, ya incluidas en HSPA, aumenta considerablemente las tasas de transmisión alcanzables. Estas técnicas tiene una implementación más simple en FDMA que en WCDMA.
- Un punto muy importante en LTE es que todas las funcionalidades relacionadas con el acceso radio se sitúan en el eNode B (Evolved Nodo B), que es el nombre de la estación base en la nueva arquitectura, y desaparece el controlador.
- En LTE no se contempla la implementación de soft handover.

### 2.10.1. Interfaz de radio LTE.

Basado en OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con sus cualidades de robustez frente interferencias, atenuación selectiva y multi trayectos.

En sentido ascendente se usa SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiplex Access), variante de OFDMA con preprocesador digital que permite transmitir sobre una sola portadora, minimizando el consumo de energía del terminal.

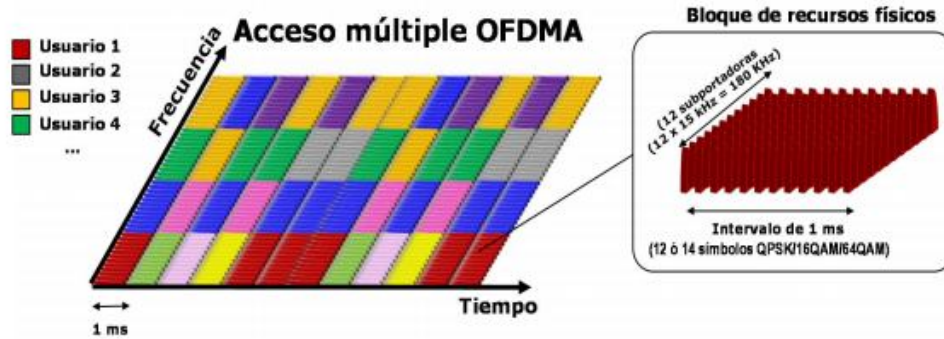
Su ancho de banda dividido en numerosas sub portadoras (de 15 KHz) ortogonales entre sí, evitando necesidad de bandas de guarda e interferencias cruzadas. (Figura N° 45).



**FIGURA 45:** Sub portadoras ortogonales OFDM.

**FUENTE:** <http://catedraisdefe.etsit.upm.es/>

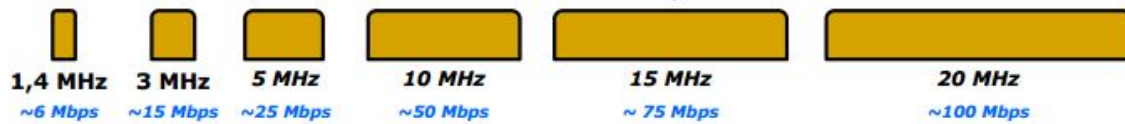
Bloque de recursos físicos de duración de 1ms, 12 sub portadoras (12 x15khz = 180 KHz), 12 ó 14 símbolos por su portadora (QPSK, 16QAM o 64QAM). (Figura N° 46)



**FIGURA 46:** Acceso múltiple OFDMA.

**FUENTE:** <http://catedraisdefe.etsit.upm.es/>

Esta tecnología es escalable aumentando su ancho de banda en uso. En LTE se contemplan anchos de banda de 1.4 MHz a 20 MHz. (Figura N° 47).



**FIGURA 47:** Ancho de bandas utilizados en LTE.

**FUENTE:** <http://catedraisdefe.etsit.upm.es/>

### 2.10.2. Bandas de Operación LTE.

A continuación mostramos un detalle general de las bandas utilizadas en el mundo.

Existen muchas operadoras que se encuentran realizando re-farming de la banda de 1900 MHz de GSM para utilizar LTE o UMTS. Además se están limpiando las bandas de 800 MHz utilizadas para TV digital migrándolas a otra porción del espectro.


La siguiente figura nos muestra que frecuencias y operadoras las utilizan en algunos lugares del mundo.

| Frecuencias y bandas LTE en el mundo |                 |                             |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Área                                 | Bandas          | Compañías                   |
| Estados Unidos                       | 13, 4, 17       | Verizon y AT&T              |
| Europa y Hong Kong                   | 3, 7, 20        | TeliaSonera y CSL (banda 7) |
| Japón                                | 1, 11, 18       | NTT DOCOMO (banda 1)        |
| Corea                                | 3, 5            | SK Telecom (banda 5)        |
| China e India                        | 38, 40 (TD-LTE) | ¿?                          |

**FIGURA 48:** Frecuencias utilizadas en LTE.

**FUENTE:** <http://www.gigahertz.es/tabla-de-frecuencias-4g.html>

En Argentina se utiliza la banda 4 AWS. (Figura N° 49).

| Carrier  | 4G LTE   |
|--|--|
|  Claro      | <input checked="" type="checkbox"/> Band4-AWS MHz, z             |
|  Movistar | <input checked="" type="checkbox"/> Band4-AWS MHz, z             |
|  Nuestro  | <input type="checkbox"/> Carrier Network does not support 4G LTE |
|  Personal | <input checked="" type="checkbox"/> Band4-AWS MHz, z             |
|  Tuenti   | <input checked="" type="checkbox"/> Band4-AWS MHz, z             |

**FIGURA 49:** Frecuencias LTE en Argentina.

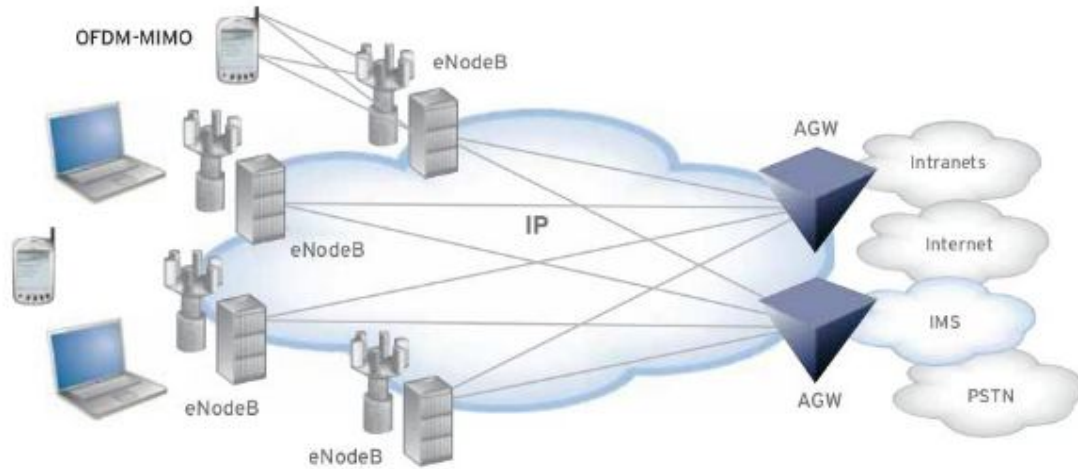
**FUENTE:** <http://willmyphonework.net/>

### 2.10.3. Arquitectura LTE.

La arquitectura de esta tecnología presenta ventajas con respecto a las tecnologías anteriores para redes celulares. Esta arquitectura ayuda a la mejora de throughput, la latencia y la capacidad de la red. El núcleo de la red presenta una simplicidad en la arquitectura, optimizando el tráfico de los servicios los cuales son totalmente basados en IP (Internet Protocol).



La siguiente figura simple describe la arquitectura LTE, se observa la iteración de los eNodosB, por medio de una red IP con los gateway's que proporcionan comunicación y acceso a diversos servicios o redes.



**FIGURA 50:** Simplicidad red LTE.

**FUENTE:** <http://www.telecomsharing.com/es>

La arquitectura LTE se basa en dos partes (Figura N° 50) que son la EPC (Evolved Packet Core) que es el corazón de la red y de la denominada Evolved UTRAN (EUTRAN), que es la encargada de todas las funciones relacionadas a la interfaz de radio y el control de los móviles, constituida únicamente por los eNodeB.

Por otro lado es en la EPC donde se brinda el acceso a otras redes de paquetes IP, además de gestionar los aspectos relacionados a la seguridad, gestión de recursos / movilidad y calidad de servicio.(Figura N° 51).



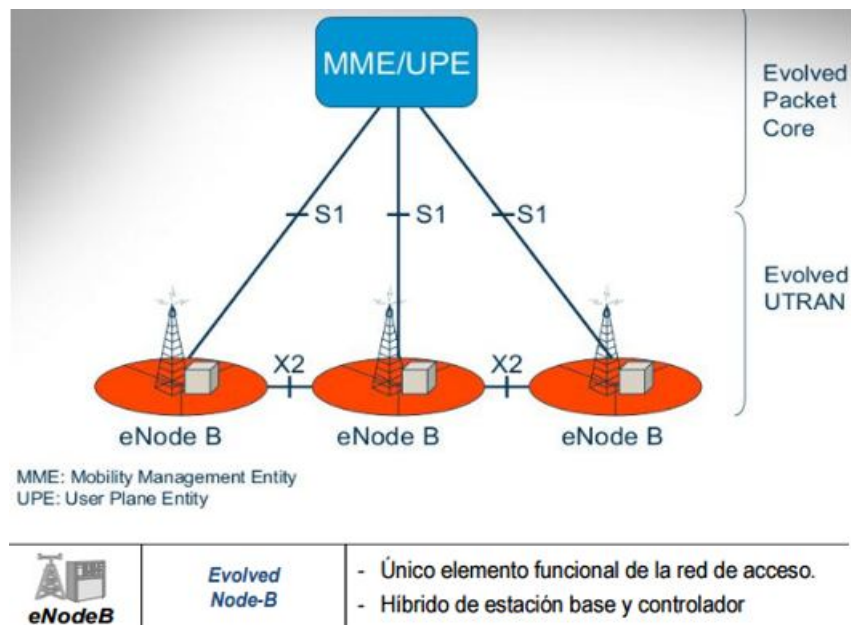
**FIGURA 51:** Arquitectura LTE simplificada.

**FUENTE:** <http://www.telecomsharing.com/es>

Los nodos eNodeB que integran el módulo Evolved UTRAN se interconectan entre ellos por medio de interfaces X2, los ENodeB interactúan con la EPC mediante los MME (Mobility Management Entity), mediante interfaces S1 para el control de la movilidad y otros aspectos. Ambas son interfaces IP que además utilizan el protocolo SCTP (Stream Control Transmission Protocol).

Las principales funciones de los eNodeB son:

- Enrutamiento en el plano usuario.
- Transmisión de información broadcast.
- Encriptación y compresión de encabezados IP de datos de usuario.
- Gestión de recursos de radio.



**FIGURA 52:** eNodeB, interfaces. Arquitectura LTE.

**FUENTE:** Capacitación Interna Movistar.

Núcleo de red EPC (Evolved Packet Core)

La siguiente figura nos muestra la composición del módulo EPC, se detallarán las funciones básicas de cada elemento, pero los mismos pueden estar integrados en un solo dispositivo con el fin de optimizar los recursos de hardware de la red.

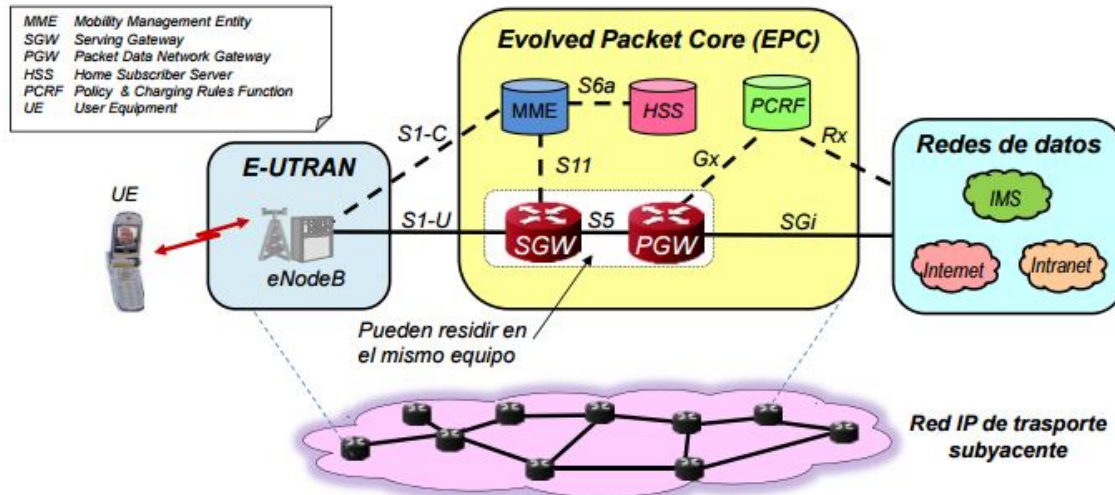







FIGURA 53: Evolved Packet Core, Arquitectura.

FUENTE: <http://catedraisdefe.etsit.upm.es/>

Descripción general de cada elemento del EPC.

|   |   |   |
|---|---|---|
|  | <b>Mobility Management Entity</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Servidor de señalización (funciones de control similares a un SGSN)</li> <li>- Gestión de movilidad y de sesiones: act. posición, paging, ...</li> </ul>   |
|  | <b>Serving Gateway</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intercambio de tráfico de usuario entre red de acceso y núcleo de red IP</li> <li>- Ancla para trasposos entre con otras redes 3GPP</li> </ul>   |
|  | <b>Packet Data Network Gateway</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intercambio de tráfico con redes externas (Packet Data Networks)</li> <li>- Clave para "policy enforcement" y recogida de datos de tarificación</li> <li>- Ancla para trasposos con redes no 3GPP</li> </ul> |
|  | <b>Home Subscriber Server</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de datos central de usuarios del sistema EPS</li> <li>- Identidades, datos de servicio y localización de usuarios</li> </ul>  |
|  | <b>Policy Charging and Rules Function</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de políticas de QoS y tarificación</li> </ul>  |

#### 2.10.4. Interconexión de red LTE a otras redes móviles.

En el siguiente esquema se observa en mayor detalle la arquitectura más sencilla de la red LTE en comparación con sus predecesoras. Eliminando controladoras de nodos de acceso ya que esta función se integra al eNodeB. Además se tienen en cuenta su interacción con futuras redes móviles. (Figura N° 54).

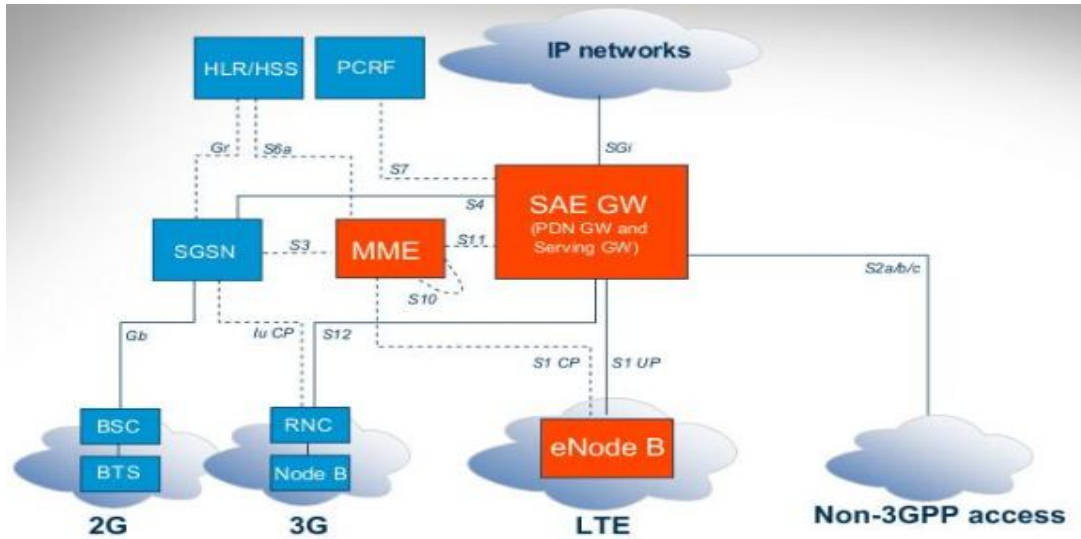


FIGURA 54: Arquitectura LTE interconectada.

FUENTE: <http://catedraisdefe.etsit.upm.es/>

### 2.11. Propagación de Ondas Electromagnéticas.<sup>18</sup>

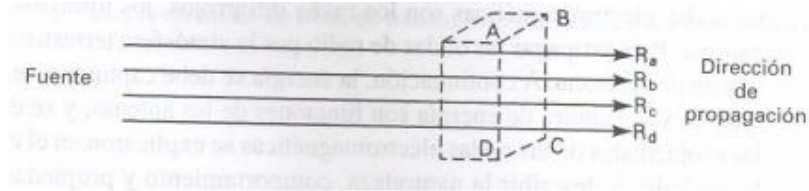
Las ondas electromagnéticas se propagan a  $3 \times 10^8$  metros por segundo, para propagar las ondas de radio por la atmosfera terrestre se necesita que la energía se irradie de la fuente, para luego ser capturada en el lado de recepción. La irradiación y la captura de energía son funciones de las antenas. En este apartado se explicará la naturaleza, comportamiento, propiedades ópticas e inconvenientes de las ondas de radio que se propagan a través de la atmosfera.

Una onda electromagnética posee un campo eléctrico y uno magnético, que forman  $90^\circ$  entre sí. La polarización de una onda plana se refiere a la orientación del vector de campo eléctrico con respecto a la superficie de la Tierra. Si la polarización permanece constante se la denomina polarización lineal.

Debido a que las ondas electromagnéticas son invisibles al ojo humano, se deben analizar por métodos alternativos e indirectos. Un rayo es una línea trazada a lo largo de la dirección de propagación de la onda electromagnética.

<sup>18</sup> FUENTE: Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición. Wayne Tomasi. Editorial Person.

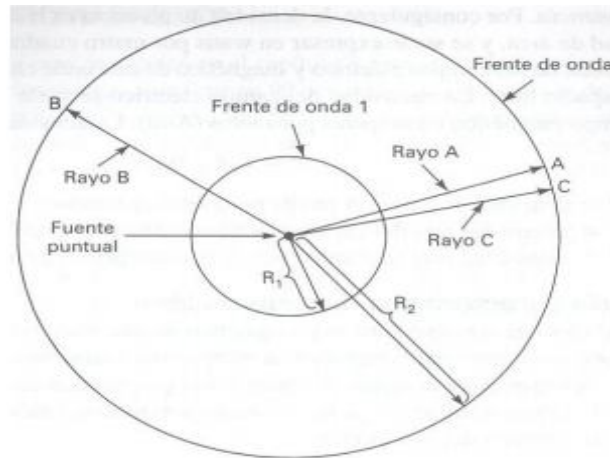
La figura 55 nos muestra varios rayos. Un frente de onda representa una superficie de ondas electromagnéticas de fase constante y propagada desde la misma fuente. Cuando una fuente es plana, su frente de onda es perpendicular a la dirección de propagación.



**FIGURA 55:** Onda Plana.

**FUENTE:** Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición.

Pero la mayoría de los frentes de onda, son más complicados que los frentes de onda plana. La figura 56 muestra una fuente de onda puntual, varios rayos se propagan desde ella en todas direcciones, este tipo de fuentes se los conoce como fuentes isotrópicas. Un frente de onda puntual es una esfera con radio  $R$  y su centro está en el punto donde se originan las ondas.



**FIGURA 56:** Fuente de onda producida por una fuente isotrópica.

**FUENTE:** Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición.

### 2.11.1. Densidad de potencia e intensidad de campo.

Las ondas electromagnéticas representan el flujo de energía en la dirección de propagación. La densidad de potencia es la rapidez con que la energía pasa a través de una

superficie en el espacio libre. Por lo tanto la densidad de potencia es la energía x unidad de tiempo y por unidad de área, suele expresarse en Watt por metro cuadrado.

$$P = \mathcal{E} \cdot \hat{H} \quad W/m^2$$

Donde:

$P$  = Densidad de Potencia (Watts por metro cuadrado)

$\mathcal{E}$  = Intensidad del campo eléctrico (Volts por metro)

$\hat{H}$  = Intensidad del campo magnético (Amperes por metro)

### 2.11.2. Impedancia característica del espacio libre.

La impedancia característica (resistencia) del espacio en vacío relaciona al campo eléctrico y magnético de una onda electromagnética en el espacio libre.

$$Z_s = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0}$$

Donde:

$Z_s$  = Impedancia característica del espacio libre (Ohms)

$\mu_0$  = Permeabilidad magnética en espacio libre. ( $1.26 \times 10^{-6}$  H/m)

$\epsilon_0$  = Permeabilidad eléctrica del espacio libre. ( $8.85 \times 10^{-12}$  F/m)

Sustituyendo los valores de la ecuación obtenemos:

$$Z_s = \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \frac{H}{m}}{8.85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}}} = 377 \Omega$$

Al aplicar la ley de Ohm se obtiene:

$$P = \frac{\mathcal{E}^2}{377 \Omega} = 377 \Omega \cdot \hat{H}^2 \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

### 2.11.3. Frente de onda esférico.

La figura 55 nos muestra una fuente puntual que irradia potencia a una tasa constante y uniforme en todas direcciones. Un radiador isotrópico es una definición teórica pero se puede aproximar este modelo con una antena omnidireccional. Un radiador isotrópico produce un frente de onda esférico de radio  $R$ . Los puntos a igual distancia  $R$  del radiador tienen igual densidad de potencia. En cualquier momento la potencia irradiada es uniformemente distribuida sobre la superficie total de la esfera. Por lo tanto la densidad de

potencia en todos los puntos de la esfera es la potencia total irradiada dividida por el área total de la esfera. La siguiente ecuación detalla lo dicho.

$$P = \frac{P_{rad}}{4\pi R^2}$$

Donde:

$P_{rad}$  = Potencia total irradiada (Watts).

$4\pi R^2$  = área de la esfera.

$R$  = Radio de la esfera. Igual a la distancia de cualquier punto de la superficie de la esfera fuente.

### 2.11.4. Ley del cuadrado inverso.

Según lo planteado en el ítem anterior, se puede observar en la fórmula de densidad de potencia que a mayor distancia del centro de irradiación la densidad de potencia es menor, pero la potencia total distribuida en la superficie es la misma. Sin embargo, como el área de la esfera aumenta en proporción directa a la distancia a la fuente al cuadrado (es decir al radio de la esfera al cuadrado), podemos decir que la densidad de potencia es inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia hacia la fuente.

Densidad de potencia en el punto (1).

$$P_1 = \frac{P_{rad}}{4\pi R_1^2}$$

Densidad de potencia en el punto (2).

$$P_2 = \frac{P_{rad}}{4\pi R_2^2}$$

Por lo tanto:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{P_{rad}}{4\pi R_1^2}}{\frac{P_{rad}}{4\pi R_2^2}} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

### 2.12. Perdidas de energía y propiedades de las ondas electromagnéticas.<sup>19</sup>

El espacio libre es el vacío, no hay pérdidas de energía cuando una onda electromagnética se propaga por él. Cuando una onda electromagnética se propaga por el

<sup>19</sup> FUENTE: Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición. Wayne Tomasi. Editorial Person.

espacio libre, lo que ocurre es que la misma se dispersa y da como resultado una reducción de la densidad de la potencia, a este fenómeno se lo denomina atenuación.

La atmosfera terrestre contiene partículas que absorben energía electromagnética. A este tipo de reducción de potencia se la llama perdida por absorción y no se presentan en ondas que viajan fuera de atmosferas.

### **2.12.1. Atenuación.**

A medida que se aleja un frente de onda de la fuente, el campo electromagnético continuo que irradia la fuente se dispersa. Esto se debe a que la ley del cuadrado inverso de la radiación detalla en su formula la reducción de la densidad de la potencia en forma exponencial a la distancia de la fuente. Esto quiere decir que a medida que las ondas se alejan cada vez más entre si da como resultado que la cantidad de ondas por unidad de área es menor. No se pierde ni se disipa nada de la potencia irradiada, por el solo hecho de que el frente de onda se aleja de la fuente, la onda solo se extiende o dispersa sobre un área mayor y disminuye su densidad de potencia.

La reducción de densidad de potencia con la distancia equivale a una pérdida de potencia, y se suele llamar *atenuación de la onda*. Como la atenuación se debe a la dispersión esférica de la onda, se suele denominar a este fenómeno atenuación espacial de la onda.

La atenuación espacial de la onda se la puede expresar en forma matemática en función del logaritmo común entre la relación de densidades de potencias.

$$\gamma = 10. \log(\rho_1 / \rho_2)$$

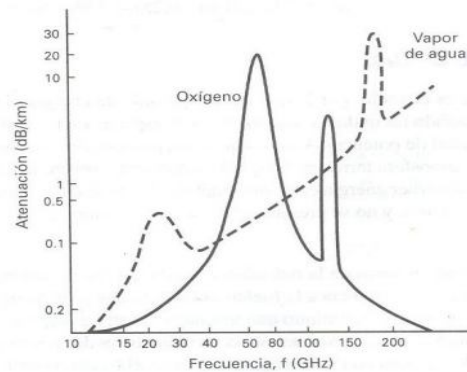
Esta relación, supone la propagación en espacio libre (en el vacío) y se llama atenuación de onda. La propagación en espacio no libre se llama absorción

### **2.12.2. Absorción.**

Cuando una onda electromagnética se propaga por la atmosfera terrestre, la misma pierde energía ya que la onda transfiere energía a los átomos y moléculas que integran la atmosfera. Una vez que la atmosfera absorbe la energía de la onda, esta se pierde para siempre, causando una disminución de las intensidades de voltaje y campo magnético y una reducción de densidad de potencia.



La absorción de energía de la señal en la atmósfera depende de su frecuencia, es relativamente insignificante a menos de unos 10 GHz. La figura 57 nos muestra que hay determinados rangos de frecuencia que afectan significativamente a la señal, cuando se propagan por atmósferas (oxígeno y vapor de agua).



**FIGURA 57:** Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas.

**FUENTE:** Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición.

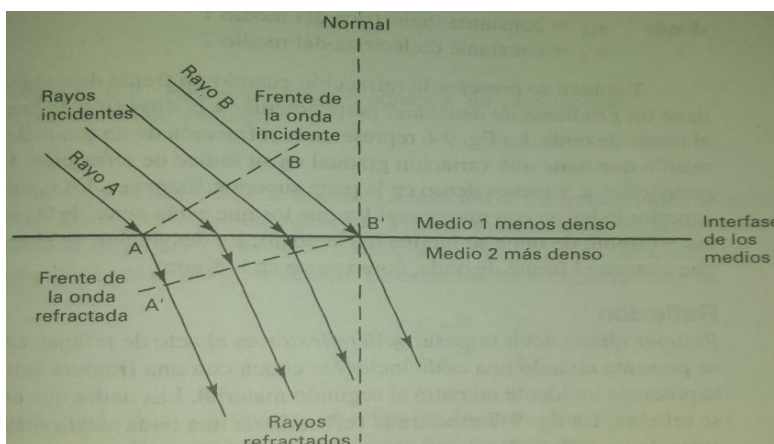
La atenuación por absorción, no depende de la distancia que la onda se propaga, sino de la distancia que la onda recorre en la atmósfera. En un medio homogéneo, la absorción sufrida durante el primer kilómetro de propagación es igual que la del último kilómetro. Pero en realidad las ondas electromagnéticas no viajan por medios homogéneos, sino por sectores atmosféricos heterogéneos afectados por distintos fenómenos naturales (lluvia, neblina, etc), variando así la absorción de energía de la onda electromagnética. El coeficiente de absorción varía mucho en un medio heterogéneo y esto resulta un problema a la hora del diseño de un sistema de comunicación inalámbrico.

### 2.12.3. Refracción.

La refracción electromagnética es el fenómeno de cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro medio que tiene diferente velocidad de propagación. La velocidad de propagación de una onda en un medio es inversamente proporcional a la densidad del medio donde lo hace. La figura 58 nos muestra la refracción de un frente de onda que traspasa una frontera plana entre dos medios con distintas densidades. En el ejemplo el medio uno es menos denso que el medio dos, por lo tanto la velocidad uno será mayor a la velocidad dos. Además se observa que el rayo A ingresa al medio más denso antes que el rayo B. Además se observa que al ingresar a otro medio, los rayos cambian de dirección. Siempre que un rayo pasa de un medio menos denso a otro medio más denso, el rayo se dobla

hacia la normal, siendo la normal una línea imaginaria trazada perpendicular a la interface en el punto de incidencia. En cambio cuando un rayo pasa de un medio más denso a uno menos denso el mismo cambia su trayectoria alejándose de la normal.

Se llama ángulo de incidencia al ángulo que forma el rayo con la normal y se llama ángulo de refracción al ángulo que forma la onda refractada y la normal.



**FIGURA 58:** Refracción de una onda en una frontera plana (entre dos medios).

**FUENTE:** Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición.

En este escenario podemos definir una relación entre la velocidad del rayo en el vacío y la velocidad del mismo en un medio distinto al vacío, a esta relación se la denomina índice de refracción y cada material posee un índice propio.

$$\eta = \frac{c}{v}$$

Siendo:

$\eta$ : El índice de refracción del material (adimensional).

$c$ : La velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  metros por segundo).

$v$ : La velocidad de la luz en un determinado material. (Metros por segundo).

El índice de refracción además varía en función de la frecuencia, pero como esta variación es insignificante en consecuencia se omite. La siguiente relación se la denomina Ley de Snell y relaciona una onda electromagnética cuando llega a la interface entre dos materiales transmisores que tienen distintos índices de refracción.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

Donde:

$\eta_1$  : Índice de refacción en el material 1.

$\eta_2$  : Índice de refacción en el material 2.

$\theta_1$ : Ángulo de incidencia del rayo (en grados).

$\theta_2$ : Ángulo de refracción del rayo (en grados).

Como el índice de refacción de un material es igual a la raíz cuadrada de su constante dieléctrica, entonces la Ley de Snell en función de las constantes dieléctricas es:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \sqrt{\frac{\epsilon r_2}{\epsilon r_1}}$$

Donde:

$\epsilon r_1$  : Constante dieléctrica del medio 1.

$\epsilon r_2$  : Constante dieléctrica del medio 2.

#### 2.12.4. Reflexión.

Reflejar significa regresar y la reflexión es el acto de reflejar. La reflexión electromagnética se da cuando una señal electromagnética incidente choca con una frontera de un medio con distinto índice de refracción en el que originalmente se propagaba y parte de la señal incidente no ingresa al nuevo medio. La onda que no ingresa al segundo medio se refleja.

La figura 58 nos muestra la reflexión de una onda electromagnética entre dos medios. Las ondas reflejadas permanecen en el medio uno y por lo tanto la velocidad de la onda incidente es la misma que la reflejada. En consecuencia el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. Sin embargo, el voltaje de la onda reflejada es menor al voltaje de su onda incidente. La relación de las intensidades de voltaje se llama coeficiente de reflexión.

$$\Gamma = \frac{E_r e^{j\theta_r}}{E_i e^{j\theta_i}} = \frac{E_r}{E_i} = e^{j(\theta_r - \theta_i)}$$

Donde:

$\Gamma$ : coeficiente de reflexión (adimensional).

$E_i$ : Intensidad de voltaje incidente (Volts).

$E_r$ : Intensidad de voltaje reflejado (Volts).

$\theta_i$ : Fase incidente (grados).

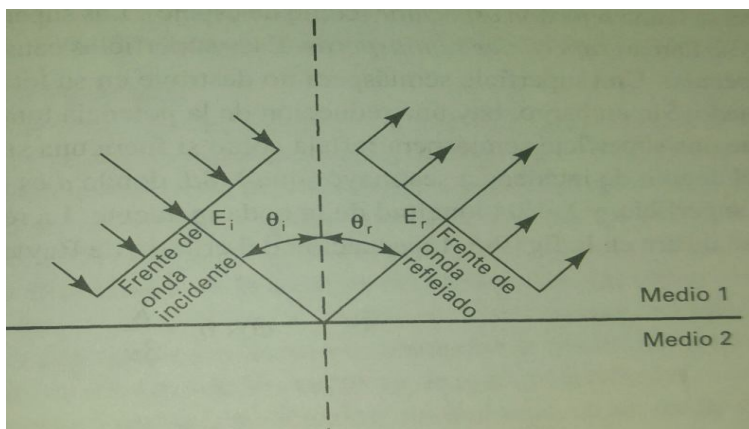
$\Theta_r$ : Fase reflejada (grados).

Además definimos el termino coeficiente de transmisión de potencia T, como a la parte de potencia incidente total que no es reflejada.

Para un conductor perfecto, T es igual a cero. Si trabajamos con materiales reflectores perfectos y teniendo en cuenta la ley de conservación de energía, para una superficie reflectora perfecta, la potencia total reflejada debe ser igual a la potencia incidente, entonces:

$$T + |\Gamma|^2 = 1$$

Para conductores imperfectos tanto  $|\Gamma|^2$ , como T son funciones del ángulo incidente, las constantes dieléctricas de los dos materiales y la polarización del campo eléctrico. Si trabajamos con un material (medio 2) cuya conducción es imperfecta, algunas de las ondas incidentes penetran en él y son absorbidas por el mismo. Las ondas absorbidas establecen corrientes a través de la resistencia del material, y la energía se convierte en calor. A la fracción de potencia que penetra en el medio dos se relaciona con la señal original pro medio del coeficiente de absorción. (Figura N° 59).



**FIGURA 59:** Reflexión electromagnética en una frontera plana entre dos medios.

**FUENTE:** Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición.

## **2.13. Soluciones de cobertura para lugares específicos (Repetidores).**

En esta sección del trabajo explicaremos cuales son los métodos utilizados para solucionar el inconveniente de servicio móvil en lugares específicos, nos focalizaremos a los equipos repetidores (BDA y CELFI) y luego estudiaremos equipos atomizados integrados a la Red móvil (smallcel), estos equipos integran el conjunto de dispositivos de la Red Movil heterogénea que se pretende.

### **2.13.1. BDA (Bi-Directional Amplifiers)**

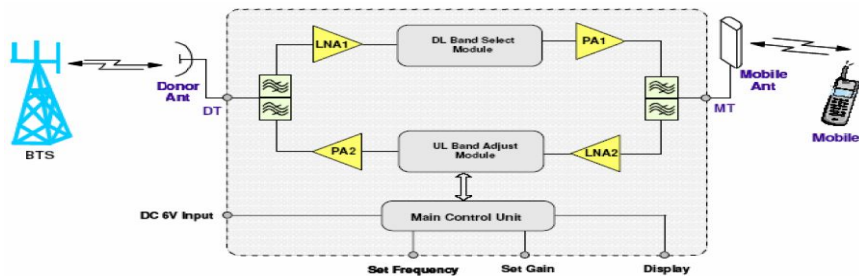
Son elementos electrónicos utilizados para extender la cobertura de los sistemas de radio, en lugares donde la recepción no es buena. Su uso frecuente es para mejorar la señal de las redes móviles celulares pero también se los utiliza como sistemas de comunicación en lugares de catástrofes, adaptados para tal fin (soportan grandes presiones, temperaturas, salpicaduras de productos químicos, ups integradas, etc). Estos equipos utilizan un sistema de antenas distribuidas (DAS) para repartir la señal amplificada en las zonas específicas que se desea cubrir.

Este tipo de elementos son comercializados e instalados por empresas prestadoras de servicio de telecomunicaciones y empresas externas, ya que es un servicio que funciona sin necesidad de configuraciones en la red que desea amplificar, tiene beneficios muy aprovechables pero también posee inconvenientes relevantes por el cual se están dejando de utilizar.

#### Funcionamiento.

El siguiente grafico nos muestra en forma esquemática como funciona un BDA instalado.

Como se observa en la figura N° 60, el sistema necesita direccionarse a una antena a la cual pretende amplificar llamada antena donora, la señal ingresa a un sistema selector / amplificador de señal para luego distribuirse al recinto por un sistema de antenas distribuidas (DAS).



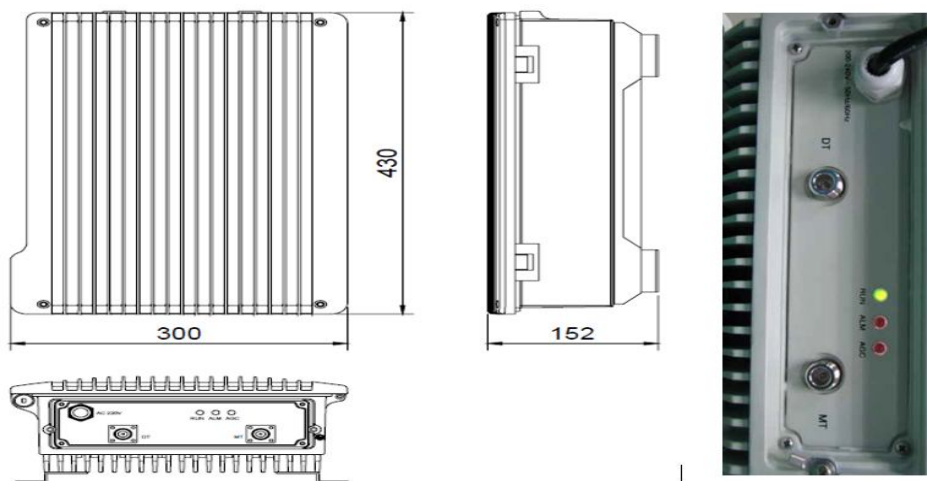
**FIGURA 60:** Funcionamiento de BDA.

**FUENTE:** COMBA TELECOM LD.

Los BDA se configuran para poder amplificar una señal de una ventana de 5 a 10 Mhz aproximadamente y esta configuración es la que se debe ajustar de acuerdo a lo que deseamos repetir.

En cuanto a las potencias de recepción y transmisión, también se configuran de acuerdo a las necesidades y para que el sistema funcione sin que el mismo sea un problema para la antena donora y toda la red móvil. Los amplificadores proveen una ganancia de 30 a 50 dB, a mayor amplificación se necesita mayor precisión en la orientación de la antena que toma la señal donora ya que el espectro siempre se encuentra con interferencias y ruidos que también se amplificarán.

El BDA es un elemento sencillo y fácil de instalar, su hardware como se puede ver en las figuras posteriores, es simple. Lo complejo es la orientación de su antena donora y la configuración correcta de atenuaciones para emisión y recepción correcta. (Figura N° 61).



**FIGURA 61:** BDA hardware.

**FUENTE:** COMBA TELECOM LD.

### 2.13.2. CEL FI.

Este tipo de equipos resuelven problemas universales como el de llamadas caídas, mala calidad de voz y bajo rendimiento de datos causadas por señales débiles en el interior de los recintos interiores llamados indoor.

Un Cel Fi es un amplificador inteligente de señal para optimizar la cobertura, es aplicable para entornos pequeños o grandes, complejos, pequeños negocios y hogares.

Básicamente se diferencia de un BDA ya que su construcción y diseño prevén tecnologías que resuelven en mayor medida las interferencias con las redes de las operadoras móviles.

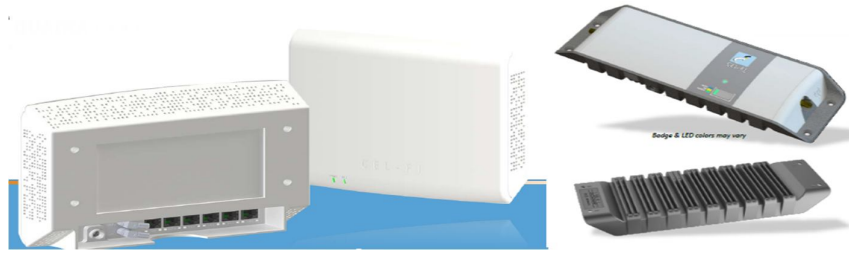
Las mejoras con las que cuenta un Cel Fi son:

- ✓ Utiliza un Chipset, que calcula la potencia de la señal amplificada en tiempo real, ajustando la ganancia del amplificador para mantener constante la potencia de salida.
- ✓ Cancelación de eco digital avanzada. No permite la realimentación de señal amplificada.
- ✓ Identificación de señal de operadora que se desea amplificar. Debido a la configuración de PLMID (Identificador de País y prestadora).
- ✓ Selector inteligente de antena donora en base a la relación señal ruido.
- ✓ Entorno de configuración y administración desde dispositivos móviles a plataformas de consulta.

Si bien un Cell Fi no deja de ser un amplificador, las mejoras enumeradas son un avance importante con el fin de que estos dispositivos funcionen de forma transparente para las redes de acceso de los operadores de telecomunicaciones y se vayan adaptando al entorno y despliegue dinámico de la red, pudiendo elegir la mejor antena donora disponible.

#### Instalación fácil y escalable.

Estos equipos también evolucionaron respecto a sus predecesores BDA en su hardware, más liviano, con menor consumo de potencias y con la posibilidad de utilización de tecnologías Ethernet para la distribución de señales a sus antenas internas en sectores amplios.



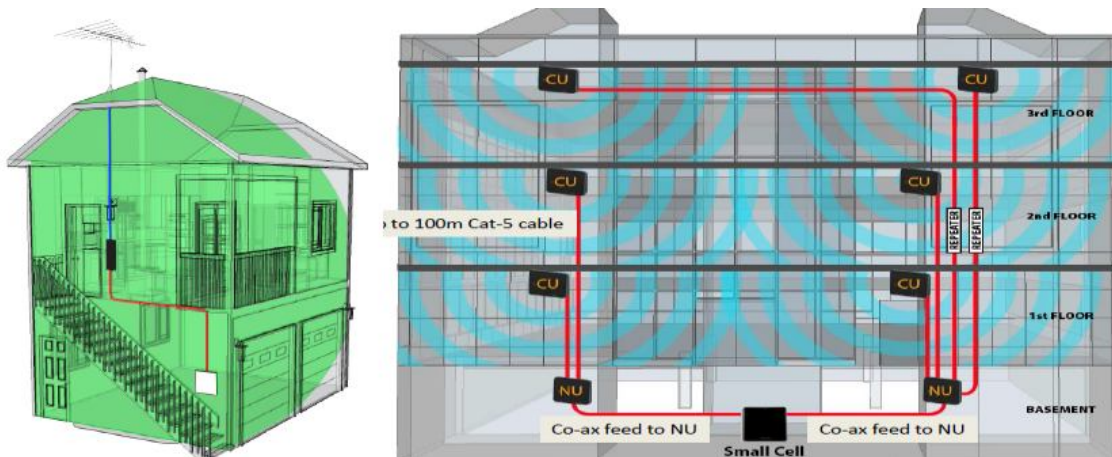
**FIGURA 62:** Modelos de Cel fi por capacidad.

**FUENTE:** <http://www.cel-fi.com/>

Además estas soluciones son interesantes ya que se adaptan a lugares pequeños como hogares o a grandes recintos como empresas de varios pisos. Son instalables en lugares estáticos y fijos o en vehículos con amplia movilidad.

Capaces de conectarse a smallcell e integrarse a esta solución como parte de ella o utilizarse como backup de una solución smallcell o micro sitio instalado.

La siguiente figura nos muestra la solución adaptada a un hogar o una pequeña empresa. (Figura N° 63).

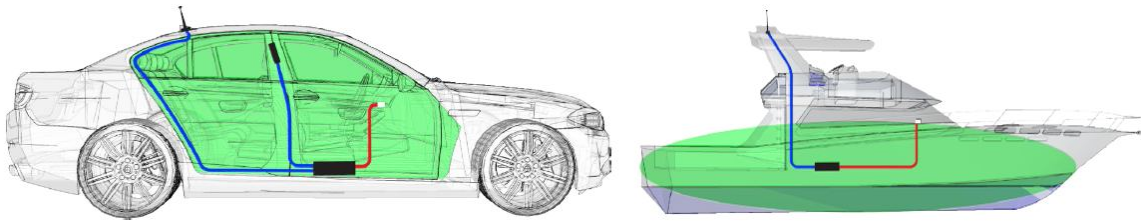


**FIGURA 63:** Solución Cel Fi instalados por capacidad.

**FUENTE:** <http://www.cel-fi.com/>

También la misma solución puede ser adaptada a vehículos ya que el consumo de energía, su volumen y peso se adapta a ellos. (Figura N° 64).





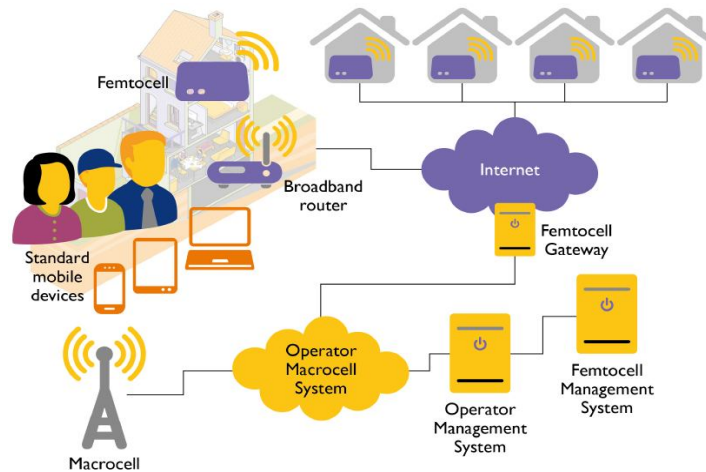
**FIGURA 64:** Cel Fi adaptados a recintos móviles.

**FUENTE:** <http://www.cel-fi.com/>

## 2.14. SMALL CELL.

Este es un término genérico para nodos de baja potencia de radio que operan en el espectro radioeléctrico con o sin licencia de nivel de operador. Operan con un alcance de solo pocos metros hasta cientos de metros. Estos elementos se contrastan con las macro celdas cuya potencia es mucho mayor y abarca varios kilómetros de cobertura.

La figura N° 65 nos muestra un escenario típico de despliegue de las small cell.



**FIGURA 65:** Escenario de despliegue estándar de una small cell.

**FUENTE:** Regulatory aspects of femtocells. Small cell forum.

Las Small cell son un punto de acceso inalámbrico de baja potencia, que incorpora los siguientes atributos:

- **Uso de tecnología móvil:** Se utilizan protocolos totalmente estandarizados para comunicarse con dispositivos inalámbricos, incluyendo los teléfonos móviles y una amplia gama de dispositivos móviles habilitados. Los protocolos estándar utilizados son GSM, W-CDMA, LTE, WiMax y otros.

Además se adaptarán a futuros estándares de organismos como 3GPP, 3GPP2, IEEE, etc.

- **Operatividad licenciada en espectro radioeléctrico:** Al operar en el espectro radioeléctrico con licencia, las small cell permiten a las operadoras ofrecer una calidad garantizada de sus servicios ya que el espectro se encuentra libre de interferencias perjudiciales y puede hacer uso eficiente de su espectro.
- **Creación de capacidad adicional:** Además de mejorar la cobertura en sectores indoor, las small cell proporcionan mayor capacidad de red, sirviendo a un número mayor de usuarios. Diferenciándose así a otras tecnologías que mejoran la cobertura en sectores indoor pero utilizan los recursos existentes.
- **Backhaul por medio de internet de alta capacidad:** La interconexión con la Red del operador se da por medio de un enlace de internet dedicado o compartido que ofrece el mismo operador o un tercero. Las tecnologías de conectividad también son estándar ADSL, ADSL+, FTTH, etc.
- **Control por operador autorizado:** Las small cell solamente funciona bajo parámetros del operador autorizado. Pero cuentan con una autonomía de regulación de potencia y frecuencias para disminuir la probabilidad de crear interferencias.

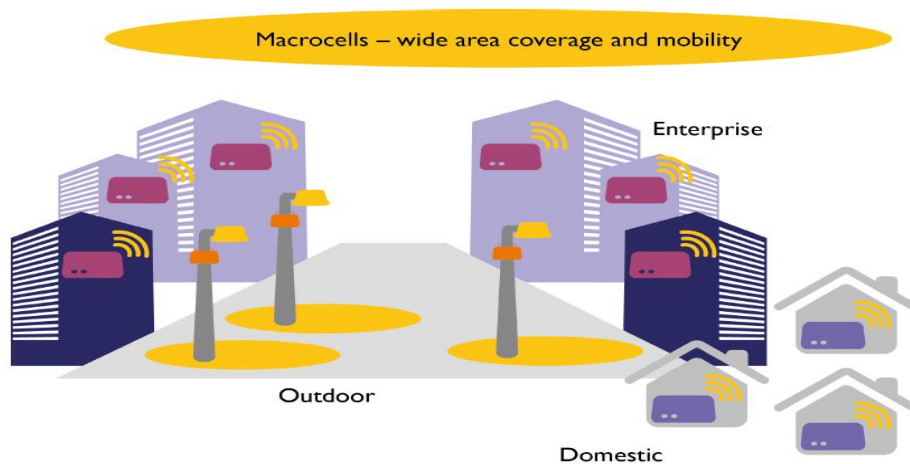
### 2.14.1. Ámbitos de aplicación de small cell.

Si bien los dispositivos small cell se pensaron para dar cobertura en lugares reducidos y focalizados, domicilios particulares y pequeñas empresas, estos dispositivos no se limitan solamente a estos sectores. Los mismos se utilizan adaptando potencia y tamaño a otros ámbitos. Pueden ser desplegados en distintos tipos de escenarios tanto por los clientes como por el operador. (Figura N° 66).

- ❖ **Residenciales:** los dispositivos small cell se instalan en los hogares de los usuarios finales y pueden o no estar integrados a otras tecnologías (Wifi).
- ❖ **Empresarial:** Son desplegados en pequeñas oficinas, sucursales o grandes edificios empresariales. Se pensó esta solución generalmente para este ámbito, agregando algunas funcionalidades adicionales a las small cell como por ejemplo handover entre small cells, integración con una central privada local (PBX) y encaminamiento de llamadas locales.

También se pueden instalar en campus corporativos con instalaciones realizadas por la operadora o por personal capacitado del cliente.

- ❖ **Operador:** El operador tiene una amplia variedad de situaciones donde le es conveniente la instalación de una solución small cell para resolver problema de capacidad, cobertura o servicios específicos tanto en ambientes interiores como exteriores. Por ejemplo un despliegue de nodos urbanos para descongestionar cuellos de botella, por lo general llamados metrocells. O en pueblos donde no existe ningún tipo de cobertura y tienen algún punto de acceso con la red (ADSL, fibra, etc.).
- ❖ **Otros actores:** Como esta tecnología se encuentra en sus inicios, hay pensadas aplicaciones innovadoras las cuales ya se piensan aplicar, como por ejemplo aviones, barcos, etc.



**FIGURA 66:** Escenario de despliegue estándar de una small cell.

**FUENTE:** Regulatory aspects of femtocells. Small cell forum.

### 2.14.2. Estandarización y Aspectos regulatorios.

Las Small cell trabajan bajo estándares de los principales grupos de creación de normas tales como 3GPP, 3GPP2, IEEE, etc. Básicamente se busca tener tecnologías estándares para la interoperabilidad de fabricantes, integración de los nuevos elementos a la red existente y transparencia de funcionamiento hacia los usuarios finales.

La regulación de estos elementos no está definida en muchas partes del mundo pero cuenta con antecedentes bastante alentadores respecto a su uso ya que si bien es un nuevo

dispositivo cumple las especificaciones de base, respeta funcionamiento en bandas licenciadas, la potencia que irradia está dentro de los valores permitidos, etc.

Respecto a esto en Europa, el organismo responsable de la elaboración de medidas para poner en práctica iniciativas de política del espectro radioeléctrico común en los 27 estados miembros de la Unión Europea es el Comité del espectro radioeléctrico (RSC), este organismo decidió que, en vista del control que los operadores pueden ejercer sobre small cells como parte de su red, las small cell podría operar bajo la concesión de licencias del espectro existente. También observaron que el aumento de la eficiencia del espectro disponible de estos dispositivos fue un punto destacado. La resolución de este organismo europeo fue:

“Tomando nota de que las femtoceldas operan como parte de la red existente del operador (Utilizando las mismas frecuencias) y que el operador mantiene el control de la Femtocell en todo momento, por lo que es razonable suponer que las femtoceldas cumplen con las condiciones de concesión de licencias técnicas existentes en cada caso concreto”.

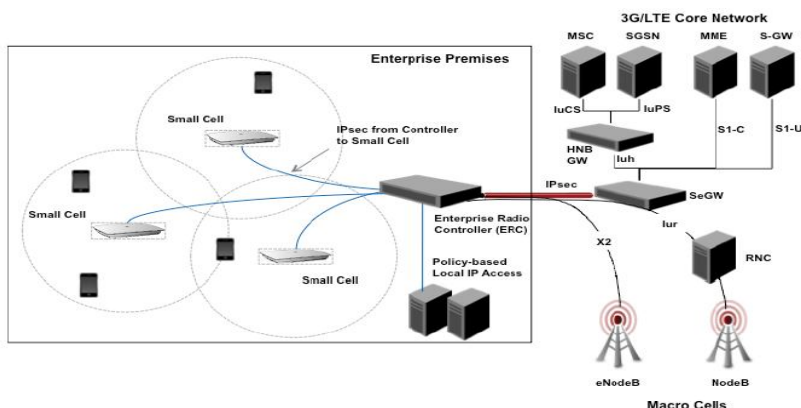
También hay avances en otras partes del mundo como Japón, Reino unido, España, etc.

#### Regulación en Argentina.

El Poder Ejecutivo Nacional a cargo del Ing. Mauricio Macri en el Decreto 798/16, toma medidas para incentivar el despliegue de nodos facilitando los establecimientos del estado nacional para dicho despliegue. Además sugiere instalar sistemas de densificación con pico celdas y micro celdas. Dando un gran empuje para el despliegue de este tipo de dispositivos en la República Argentina.

### **2.14.3. Arquitectura Small cell.**

La arquitectura, que se muestra en la Figura N° 66, se basa en un controlador de small cell local para hacer frente a los principales requisitos de la implementación de una red de small cell escalable dentro de una empresa.



**FIGURA 67:** Arquitectura small cell.

**FUENTE:** SMALL CELL FORO.

La solución mostrada muestra dos elementos:

- Small cells o HNB (Home nodo B), para arquitecturas 3G.
- Enterprise Radio Controller (ERC).
- Pasarela de seguridad. (SEGW)

Las small cell están conectadas a un controlador de radio a través de una red LAN Ethernet. El controlador de radio (ERC) toma la función de auto organizador e integración de small cell. En caso de una implementación 3G como un controlador de Radio RNC. El controlador de radio se conecta a la red central 3G mediante una interfaz Iuh y al EPC LTE usando S1. También puede conectarse a eNB macro vecinos utilizando X2 y al RNC macro utilizando Iur.

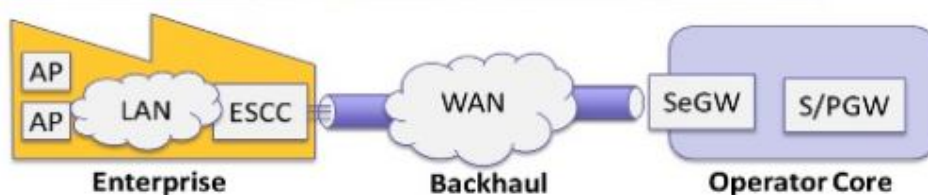
Esta topología tiene como beneficio poder manejar el traspaso de llamadas entre las small cell conectadas a la ERC en forma local si necesidad de consultar a nodos de jerarquía superior, a esta transferencia por lo general se la denomina transferencia blanda de llamadas.

Ahora bien, las ERC solamente se conectan cuando se tiene entre seis y ocho small cell instaladas, para menores cantidades no es necesario este controlador local y solamente basta conectar a la Red el elemento para que la operadora local la vincule a su controlador en forma remota. Esta es la forma en la que se utilizaría cuando se despliega esta solución en domicilios particulares o pequeños recintos con menos de seis small cell.

### 2.14.4. Backhaul.

Cuando se comienza a plantear el modo de conexión a la red de los dispositivos small cell, se está hablando del principal obstáculo económico y técnico que tiene esta tecnología y por el cual todavía su despliegue y comercialización nos son masivos.

El uso de los dispositivos small cell tiene como fin equiparar la oferta de capacidad con la demanda ya que por lo general estos dos conceptos son dispares y los despliegues lentos y rígidos contribuyen con que la demanda sea mayor que la oferta de capacidad, en valores absolutos.

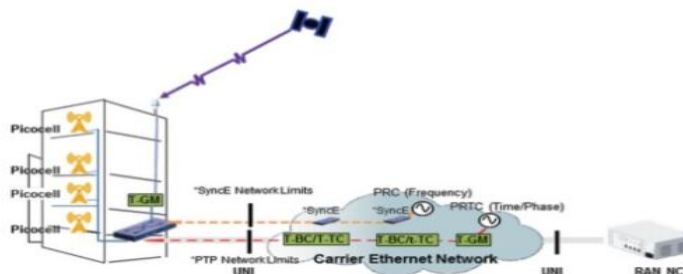


**FIGURA 68:** Backhaul de Small cell. Estructura genérica con un concentrador local.

**Fuente:** Small cell Forum.

La interconexión de los dispositivos small cell a la red puede realizarse por tecnologías fijas desplegadas ( XDSL, FTTH, SDH, etc) o también se pueden configurar para ser desplegadas por WiFi que concentre el tráfico para ser transportadas por algún medio fijo a la red.(Figura N° 68).

Para elegir la correcta interconexión de los dispositivos small cell se necesita analizar en primer lugar el entorno donde el mismo será instalado y luego la capacidad de usuarios que el nodo puede soportar. La figura N° 68 muestra un ejemplo de interconexión por medio de un Carrier entre la estructura local (Concentrador y small cell) y el Core del operador y donde además cuenta con un enlace satelital en caso de falla de enlace primario.



**FIGURA 69:** Backhaul small cell con backup.

**FUENTE:** MEF Metro Ethernet For.

### 2.14.5. WiFi vs Small cell

Una vez introducido el concepto de Small cell y pudiendo inclusive instalar estos dispositivos en hogares con equipos similares a un modem WiFi y con un nuevo elemento de conectividad en un hogar o empresa, se puede plantear si estos dispositivos son competidores o socios estratégicos de los dispositivos WiFi a la hora de la conexión.

La respuesta a este interrogante sería, “depende” y las variables a tener en cuenta son dos, servicio y costos.

En cuanto al servicio de voz, las small cell se interconectan a la red móvil de operador siendo un nodo más dentro de su estructura y pudiendo brindar el servicio de voz interconectado a la red global de telefonía, mientras que los modem WiFi no pueden brindar este servicio, si bien pueden cursarse llamadas voip, la interconexión con la red de telefonía no está asegurada.

En cuanto al servicio de datos, la cosa es distinta ya que ambos tienen la posibilidad de brindar este servicio pero también su utilización es distinta. Mientras que los usuarios utilizan una red WiFi para realizar grandes descargas y permanecer por mucho tiempo conectados. En caso de necesitar internet por un periodo más breve y en cualquier lugar, se utilizan los servicios de datos de una operadora móvil. Además en los costos son distintos, mientras que un servicio de WiFi depende de un operador con un costo fijo los servicios de datos brindados por small cell brindan el servicio con costos dependiendo de la cantidad de bits consumidos. Mientras que en una conexión WiFi, tengo una tasa de transmisión máxima acotada por el proveedor, una small cell ofrece la mejor tasa de transmisión que el nodo pueda brindar.

Básicamente los usuarios se volcaban a redes WiFi no solo por un tema de costos si no porque estos dispositivos eran superiores comparados con tecnologías de transmisión de datos móviles (HSPA, HSPA+, etc.), las redes WiFi proporcionaban mayor tasa de transmisión y estabilidad. Ahora con la llegada de LTE, este comportamiento comenzó a variar y los usuarios de LTE utilizan menos las redes WiFi debido a que esta tecnología proporciona una tasa de transmisión de datos altamente aceptable.

Ahora bien, ¿Son competidoras estas dos tecnologías?, tal como se dijo, las mismas se utilizan de forma diferente y las operadoras móviles están utilizando ambas tecnologías para afrontar el crecimiento del consumo de datos de los usuarios.

Offloading sobre redes WiFi, es una técnica que se basa en instalar puntos de acceso WiFi para volcar allí el consumo de datos y descongestionar la red celular, liberándola para llamadas y mensajes de texto (SMS).

Small cell como micro nodos integrados a la red móvil, con la posibilidad de dar servicios de voz y datos, utilizando en algunos casos espectros no licenciados para su funcionamiento.

Si bien estas tecnologías pueden solapar los servicios brindados, se explicó que cada una de ellas se utiliza de forma distinta e inclusive se están realizando proyectos para integrar las mismas en un solo dispositivo.

Los grupos Wireless Broadband Alliance y Small Cell Forum, están trabajando en conjunto para integrar los dispositivos con el fin de entregar la mejor Experiencia a los usuarios finales. Se están experimentando tecnologías que tengan una elección inteligente y autónoma para la elección de la mejor conexión de acuerdo a los recursos que el dispositivo necesite.

#### **2.14.6. Soluciones prácticas.**

Según lo planteado y pensando en una red Heterogénea HetNet, los fabricantes están avanzando para plantear soluciones innovadoras a la hora de pensar un despliegue de las small cells, estas ideas están pensadas con el fin de que los dispositivos se adapten y generen la menor contaminación visual a los usuarios finales, tengan un ahorro de energía y sumen otras funcionalidades.

##### *Proyecto Ericsson Zero Site.*

Este proyecto donde Ericsson y Philips trabajan en forma conjunta permite resolver dos puntos fundamentales para la instalación de nodos que son la energía y la ubicación de los nodos. Son luminarias exteriores que utilizan tecnologías de bajo consumo de energía (Leds) y suman small cell para poder irradiar la señal de algún operador de telecomunicaciones. Esta solución acelera el despliegue empujando no solo la conectividad si no la iluminación urbana y suburbana.



La figura N° 70 nos muestra los dos productos lanzados, una luminaria para carreteras y corredores y una luminaria más urbana orientada a personas que se trasladan caminando.



**FIGURA 70:** Proyecto Zero Site.

**FUENTE:** <https://www.ericsson.com/networks/topics/invisible-sites>

Sitios de Espera Conectados.

Como una forma de acercarse a los sitios donde existen mayor concentración de usuarios, el concepto de agregar una small cell a una parada de autobús y sumarle otros atributos tales como una cámara de seguridad, información en tiempo real y propaganda, hacen de esta solución una idea innovadora y muy adaptable a entornos urbanos de alta densidad de usuarios.

La figura N° 71 nos muestra la solución con los elementos de red completamente camuflados.



**FIGURA 71:** Parada de autobús con small cell integrada.

**FUENTE:** [www.digitalavmagazine.com](http://www.digitalavmagazine.com)

## **2.15. Cierre de Capítulo Teoría y Tecnología.**

En ese capítulo realizamos un resumen y estado de las tecnologías de redes móviles utilizadas para brindar el servicio de voz y datos. Luego también se detalló el marco legal Argentino que regula a los operadores de servicios de telecomunicaciones y los decretos más relevantes a este trabajo.

El capítulo se explayó sobre la arquitectura y los puntos técnicos más relevantes de la tecnología GSM, UMTS y LTE, se utilizó bibliografía actualizada de fuentes de capacitación de empresas del mercado de las telecomunicaciones.

Luego el capítulo continuó con una explicación teórica de los problemas de propagación de ondas electromagnéticas para entender que ocurre en los recintos indoor donde esta práctica pretende proponer una solución tecnológica mejoradora.

Con todo lo detallado se presentaron 3 soluciones técnicas orientadas a mejorar la calidad de servicio en lugares y recintos cerrados (indoor), los cuales se explicaron en detalle y se van a analizar en el capítulo siguiente como alternativa para mejorar la calidad de servicio de una empresa pymes en particular.

El capítulo N° 3 detalla un ejemplo particular donde se instalara alguna solución de cobertura de red presentada en este capítulo.

### **3. Metodología y Desarrollo (Proyecto).**

En esta sección de la práctica final de ingeniería presentaremos un caso de un cliente el cual reclama mala calidad de llamadas, analizaremos el problema relevando las instalaciones del cliente y estudiaremos las alternativas tecnológicas para luego proponer una y desarrollarla.

Se aclara que en esta parte de la práctica se modificarán algunos detalles del cliente por razones de confidencialidad. Existen dos empresas del mercado local que compiten por captar la mayor cantidad de líneas del cliente, las mismas son la operadora A y la operadora B.

El proyecto que realizamos supone que somos parte de una de las dos operadoras la cual quiere captar y migrar la mayor cantidad de líneas del cliente. En este caso la operadora B.

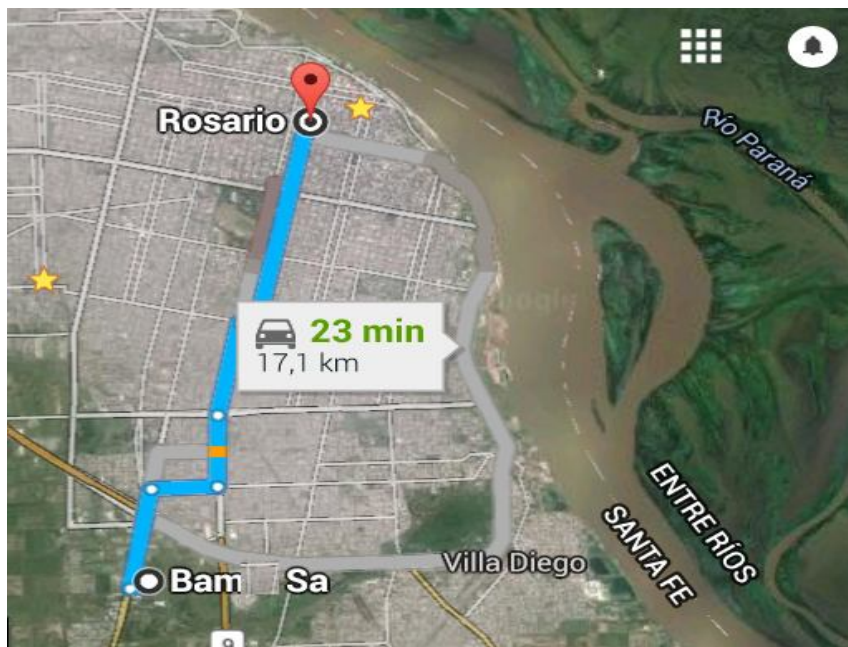
Debido a la mala calidad de servicio de voz que el cliente experimentaba con su operadora mayoritaria, decidió comenzar a probar los servicios de una operadora alternativa (operadora B), comenzó por migrar 5 líneas del departamento de Sistemas e informática el mes de marzo del 2016.

En forma paralela los nuevos clientes del departamento de Sistemas e informática informan mediante los ejecutivos comerciales que el servicio de llamadas no está funcionando con la calidad deseada.

Es por esto que la operadora B propone una solución tecnológica al inconveniente que el cliente manifiesta.

#### **3.1. Contexto del Problema.**

La empresa BAM SA, se encuentra ubicada en la provincia de Santa Fe, a 10 km aproximadamente de la ciudad de Rosario. Cuenta con una planta de alrededor de 800 mt<sup>2</sup> cubiertos. Esta empresa se dedica al rubro alimenticio y dentro de ella tiene alrededor de 60 empleados, de los cuales 55 poseen líneas a cargo de la empresa y el resto poseen líneas propias. Por políticas nuevas de la empresa, comenzaron a contratar parte de su parque con una operadora alternativa (operadora B) pero la mayoría de las líneas tienen servicio contratado con otra operadora (operadora A). (Figura N° 72).



**FIGURA 72:** Ubicación de Empresa BAM SA.

**FUENTE:** GOOGLE MAPS.

Desde el mes de marzo la empresa BAM SA comenzó a contratar una cantidad pequeña de líneas a la operadora B, con el fin de experimentar alguna alternativa a sus servicios de voz contratada con la operadora A.

### 3.1.2. La opinión del cliente.

Los referentes técnicos de la empresa BAM SA nos manifestaron:

“Si bien las 5 líneas contratadas funcionan un poco mejor de las que teníamos con la operadora B, todavía se nos siguen cayendo las llamadas”

“Las llamadas no ingresan por momentos, me doy cuenta que me llamaron cuando me llega los mensajes de llamadas perdidas”

“En la oficina del jefe de área no se puede hablar, debemos salir al patio para efectuar llamadas de forma clara y sin cortes”

“Necesitamos una mejora de servicio de forma notoria si quieren que avancemos con la portabilidad de líneas, los reintegros y mejoras comerciales son buenos, pero tampoco nos sirve un servicio así.”

Estos fueron los reclamos que se relevaron como experiencia del cliente y principalmente el cliente solicitaba una mejora en el servicio de voz.

En cuanto a su servicio de datos el mismo traficaba datos por sus redes WiFi y no tenía inconveniente con este servicio. (Contratado a la operadora B).

### 3.2. Market share BAM SA.

En esta sección del trabajo presentaremos la cuota del Mercado que las distintas operadoras tienen en la empresa BAM SA, y como fue evolucionando en los trimestres del año.

Según nos informaron los referentes técnicos, el 2015 tuvieron todo su parque de líneas con los servicios de la operadora A. Pero debido a una insatisfacción de servicio con esta operadora, los mismos buscan una alternativa superadora. Es por eso y en forma de prueba piloto, los referentes del área de sistemas e informática fueron portados a la operadora B.

La tabla N° 6 nos muestra que en abril la operadora B tenía el 8 % del total de las líneas que se encontraban ubicadas en el predio.

En cuanto al Ítem otros, hace referencia a empresas tercerizadas que trabajan para la empresa BAM SA, si bien se sabe que cuentan con equipos móviles, no se puede cuantificar de que compañía son los mismos en forma exacta.

| RAZÓN SOCIAL | OPERADORA | 2015      |                | 1° T 2016 |                | 2° T 2016 |                |
|--------------|-----------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|              |           | CANTIDAD  | %              | CANTIDAD  | %              | CANTIDAD  | %              |
| BAM SA       | A         | 55        | 90,16%         | 50        | 81,97%         | 40        | 65,57%         |
| BAM SA       | B         | 0         | 0,00%          | 5         | 8,20%          | 15        | 24,59%         |
| OTROS        | OTROS     | 6         | 9,84%          | 6         | 9,84%          | 6         | 9,84%          |
|              |           | <b>61</b> | <b>100,00%</b> | <b>61</b> | <b>100,00%</b> | <b>61</b> | <b>100,00%</b> |

**Tabla 6:** Distribución temporal de clientes en BAM SA.

#### 3.2.1. Acuerdo de servicio y prestación.

En el mes de mayo, en una reunión entre los referentes técnicos y comerciales del cliente BAM y la operadora B, se llegó al siguiente acuerdo informal.

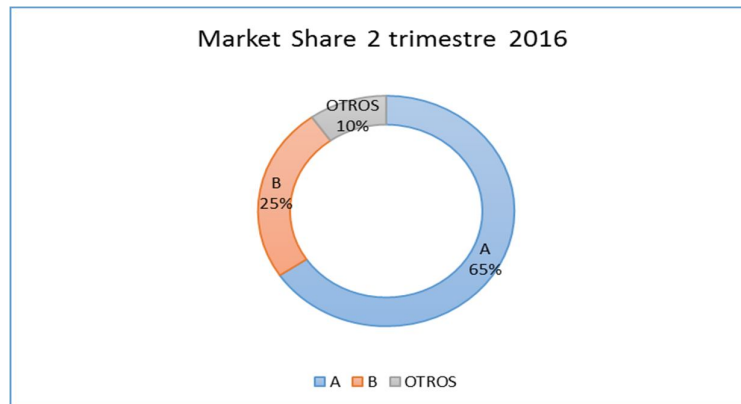
El acuerdo básicamente consiste en que BAM SA portaba 10 líneas más a la operadora B, pertenecientes al área de Administración, con el fin de que la empresa prestadora de servicios de voz mejorará notablemente la calidad de servicio de llamadas.

Tanto el departamento de administración como el de Sistemas e informática se

encuentran ubicados en un edificio dentro del predio que cuenta con una planta baja y primer piso de 800 mt<sup>2</sup>.

Por lo tanto la Distribución de líneas esperadas para el segundo trimestre era de 15 unidades, creciendo un 15 % y llegando a tener el 25 % del parque de líneas de la empresa BAM. SA.

El gráfico N° 1 nos muestra la modificación del Market Share llevando a la empresa Movistar al 25 % para el segundo trimestre del año.



**GRAFICO 1:** Distribución de parque de líneas de la empresa BAM SA.  
2° Trimestre del 2016.

### 3.2.2. Market share Esperado.

Una vez demostrada la mejora de calidad del servicio de voz del cliente, se espera proponer una portación de todas las líneas del predio, ofreciendo algunos planes de servicio superadores y además bonificaciones para ganar el mercado y captar todo el parque de líneas de la empresa BAM SA.

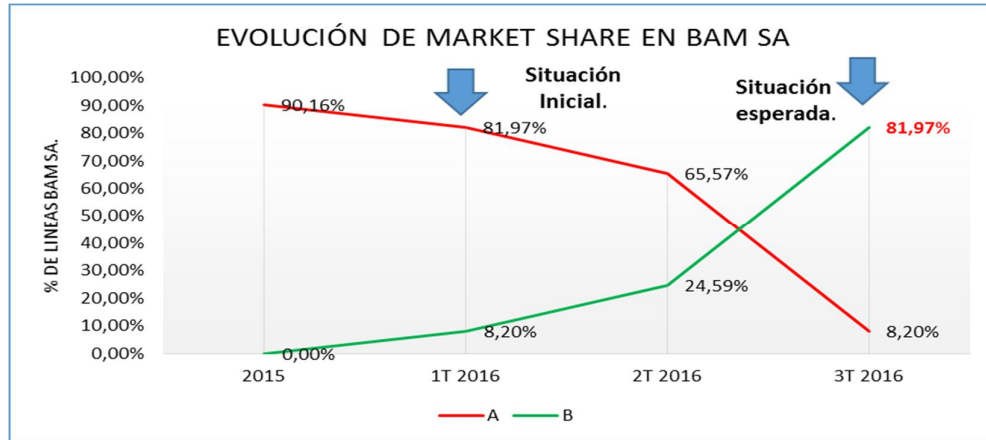
La tabla N° 7 nos muestra cual es la pretensión esperada para el tercer trimestre del año, y como se pretende llegar a obtener el 81 % del parque de líneas.

| RAZÓN SOCIAL | OPERADORA | 2015     |         | 1° T 2016 |         | 2° T 2016 |         | 3° T 2016 |         |
|--------------|-----------|----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
|              |           | CANTIDAD | %       | CANTIDAD  | %       | CANTIDAD  | %       | CANTIDAD  | %       |
| BAMSA        | A         | 55       | 90,16%  | 50        | 81,97%  | 40        | 65,57%  | 5         | 8,20%   |
| BAMSA        | B         | 0        | 0,00%   | 5         | 8,20%   | 15        | 24,59%  | 50        | 81,97%  |
| OTROS        | OTROS     | 6        | 9,84%   | 6         | 9,84%   | 6         | 9,84%   | 6         | 9,84%   |
|              |           | 61       | 100,00% | 61        | 100,00% | 61        | 100,00% | 61        | 100,00% |

**Tabla 7:** Evolución de distribución esperada de clientes en BAM SA.

Si bien el porcentaje de migración del parque de líneas es pretenciosa, es factible cumplirla, siempre y cuando se mejoren los parámetros de calidad del servicio de voz a la empresa BAM SA.

El gráfico N° 2 nos muestra el crecimiento del parque que se pretende migrar una vez presentada la solución técnica que mejorará los parámetros de calidad de llamadas.



**GRAFICO 2:** Evolución del parque de líneas esperado. BAM SA.

### 3.3. Análisis técnico inicial.

A continuación se detallarán los aspectos técnicos iniciales que se relevaron y se contemplaron para proponer soluciones técnicas con el fin de mejorar la calidad de servicio de VOZ.

Principalmente se realizarán pruebas con 4 líneas del cliente en sitio, para cuantificar la experiencia del cliente. Se definirán indicadores de calidad (KPI). Se analizarán la zona geográfica y los nodos desplegados que dan servicio al cliente.

Luego de realizar este relevamiento se propondrán 3 tipos de soluciones técnicas, para luego elegir la alternativa final que se instalara.

#### 3.3.1. Pruebas e Indicadores de calidad de servicio de voz (Estado Inicial).

Con el fin de cuantificar los aspectos de calidad inicial del servicio de voz del cliente, se tomaran 4 líneas al azar para realizar pruebas de llamados, las pruebas de llamados serán realizadas bajo este entorno:

- Llamados a destinos fijos (locales nacionales).
- Prueba realizada un día laboral entre lunes y viernes.
- Prueba realizada en la mayor franja de horario laboral.

La tabla N° 8 nos muestra los horarios y cantidades de llamadas que realizará cada línea.

| hs/Líneas | HORAS DIA HÁBIL ( 9 hs a 18 hs) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Total |    |
|-----------|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|----|
|           | 0                               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |       | 23 |
| Línea A   |                                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |       | 10 |
| Línea B   |                                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |       | 10 |
| Línea C   |                                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |    |    |    |    |    |       | 10 |
| Línea D   |                                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |    |    |    |       | 10 |

**Tabla 8:** Horario de pruebas de llamado para empresa BAM SA.

Los indicadores que se medirán orientados a la calidad de servicio de voz y operatividad de la red son los remendados por el Manual de procedimientos de Auditoría y Verificación Técnica del Reglamento de Calidad de los Servicios de Telecomunicaciones 2013 (ENACOM), donde se tomarán los siguientes indicadores:

Accesibilidad de Servicio (AS).

La accesibilidad en el servicio de telefonía móvil está definida hasta la asignación de recursos (1° tono de ring). Se contara el tiempo hasta que suceda este evento.

Para las comunicaciones de voz, el tiempo de espera máximo para la recepción de señal de respuesta del destino llamado es de DIEZ (10) segundos. Superado ese tiempo, no será considerada como una asignación exitosa.

Retenibilidad del servicio (RS).

El indicador tiene por objeto evaluar la proporción de requerimientos exitosos de acceso a un determinado servicio que finalizaron por causas ajenas al usuario y atribuibles a la red.

En nuestro caso se medirán las caídas de llamada ocurridas en el transcurso de una llamada de 2 minutos de duración.

**3.3.2. Medición de accesibilidad de servicio (estado inicial).**

Se realizó la prueba de accesibilidad del servicio realizando 40 llamados en el rango horario estipulado con 4 líneas de la operadora B. La tabla N° 9 muestra las pruebas realizadas, los tiempos promedios de accesibilidad que tuvo cada línea, la cantidad de llamadas de prueba dentro de los parámetros aceptables de accesibilidad y los llamados fuera de los parámetros.

El 38 % de las llamadas no cumple los parámetros de accesibilidad deseados.



| <i>hs/Líneas</i> | Tiempo promedio de AS | Llamadas realizadas. | Dentro del AS establecido | Fuera del AS establecido |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|
| Línea A          | 14                    | 10                   | 6                         | 4                        |
| Línea B          | 12                    | 10                   | 5                         | 5                        |
| Línea C          | 11                    | 10                   | 7                         | 3                        |
| Línea D          | 10,5                  | 10                   | 7                         | 3                        |
|                  |                       | <b>40</b>            | <b>25</b>                 | <b>15</b>                |
|                  |                       |                      |                           | <b>38%</b>               |

**Tabla 9:** Accesibilidad de la Red móvil del operador B. Estado inicial.

### 3.3.3. Medición de Retenibilidad del servicio (estado Inicial).

Como segunda instancia se realizaron las pruebas de llamadas cursadas con más de 2 minutos sin caídas.

La tabla N° 10 muestra los resultados de esta prueba, obteniendo un 68 % de llamadas con una duración de más de 2 minutos sin caídas.

| <i>hs/Líneas</i> | Llamadas cursadas | Llamadas caídas antes de <= 2 min | Llamadas caídas antes de > 2 min |
|------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Línea A          | 10                | 3                                 | 7                                |
| Línea B          | 10                | 4                                 | 6                                |
| Línea C          | 10                | 3                                 | 7                                |
| Línea D          | 10                | 3                                 | 7                                |
|                  | <b>40</b>         | <b>13</b>                         | <b>27</b>                        |
|                  |                   |                                   | <b>68%</b>                       |

**Tabla 10:** Retenibilidad de la Red móvil del operador B. Estado inicial.

### 3.3.4. Relevamiento de infraestructura edilicia.

La empresa BAM SA, está ubicada en una zona industrial agricultora, con edificaciones bajas y zonas despejadas. La figura N° 73 muestra la fachada de la empresa.

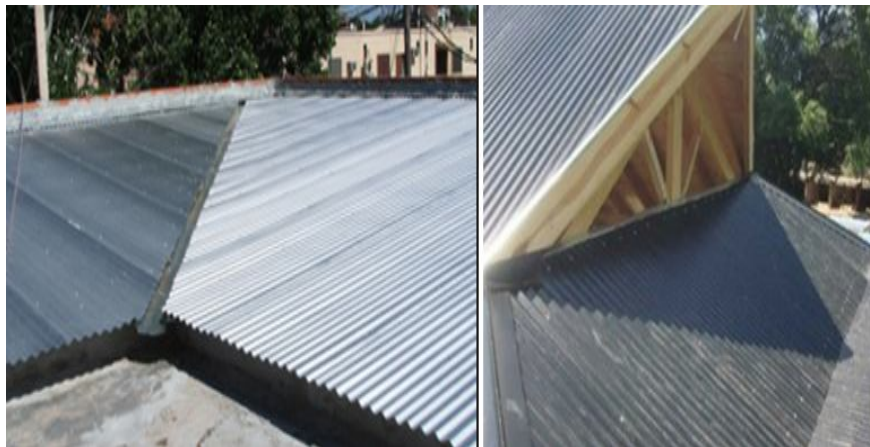
En cuanto al edificio donde se pretende mejorar el servicio de voz, es un edificio de 40 metros de largo por 20 metros de ancho, con una plata baja y primer piso, ocupado en su mayoría por personal de administración.



**FIGURA 73:** Fachada empresa BAM SA.

Además cuenta con un techo de chapa al exterior con aislantes térmicos entre chapa y machimbre con un acabado en madera en el interior para aislar el calor y embellecer la terminación.

La figura N° 74 muestra el techo en su lado exterior donde se observa que casi la totalidad del mismo es de chapa galvanizada.



**FIGURA 74:** Techo exterior de edificio administrativo BAM SA.

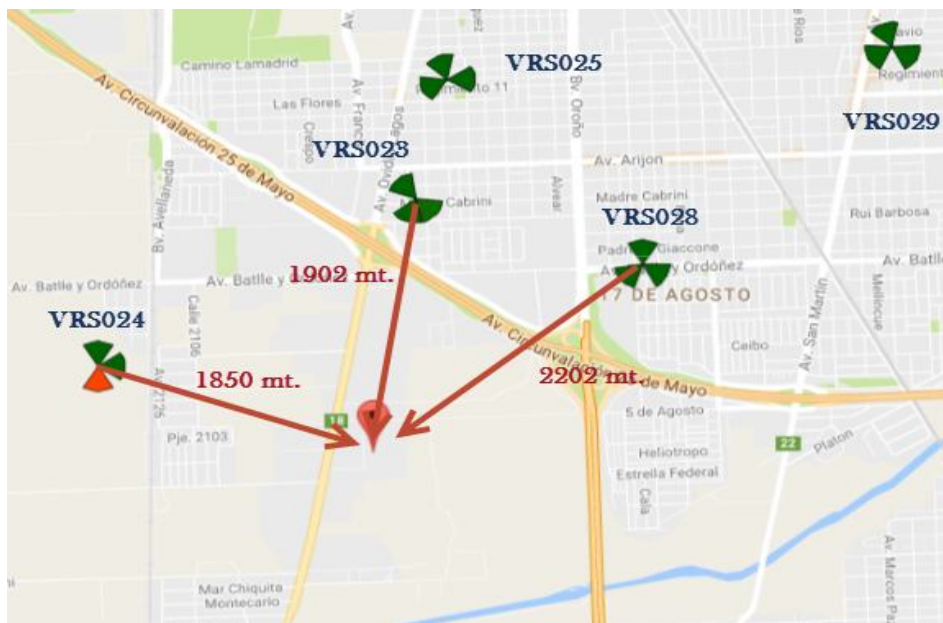
La figura 75 nos muestra como está construido la parte interior del techo y los aislantes térmicos (laminados de aluminio y de goma eva) que se instalaron entre la chapa y el machimbre.



**FIGURA 75:** Techo interior y aislante térmico del edificio administrativo BAM SA.

### 3.3.5. Entorno de cobertura de red en zona.

La operadora B, encargada de relevar la actualidad de la cobertura de red en la zona, tiene desplegados sitios que corresponden a un primer anillo de cobertura alrededor del cliente y otros dos sitios más mucho más lejanos. La figura N° 76 muestra además la distancia de dichos nodos con el establecimiento de BAM SA.



**FIGURA 76:** Sitios de operadora B que prestan servicios en la zona de BAM SA.

Se aclara que la operadora B cuenta con nodos de las tecnologías GSM, UMTS y LTE en todos los sitios mencionados en la figura N° 76.

En caso de que se decida utilizar una tecnología de Repetición de Señal (BDA o Cel Fi), utilizaremos los nodos 3G para selecciona una antena donora. No utilizaremos nodos GSM debido a que la operadora B está reutilizando la frecuencia de sus nodos GSM para

instalar mayor cantidad de nodos 3G y es por eso que en el transcurso del año estos nodos serán dados de baja. No utilizaremos los nodos LTE debido a que la tecnología VOLTE que permitiría hablar por estos nodos todavía está en etapa de prueba y estos nodos solamente se utilizan para brindar servicio de datos (la solución elegida debe brindar servicio de voz).

En caso de que se decida instalar alguna solución small cell debe contemplarse que el micro nodo sea 3G para brindar el servicio de voz principalmente.

### 3.3.6. Mediciones de RSCP y Ec/Io (estado Inicial).

Además de las mediciones realizadas orientadas a cuantificar la calidad del servicio de voz, se realizarán mediciones orientadas a la calidad de la señal de servicio que se recibe dentro de las instalaciones de BAM SA.

Los parámetros a medir serán dos:

- ❖ RSCP (RECEIVED SIGNAL CODE POWER): es la energía de RF recogida después del proceso / descifrado de correlación, por lo general dada en dBm. Sólo esta potencia de código es de interés para las siguientes etapas del receptor cuando se juzga en la calidad de la recepción.

La tabla N° 11 muestra la tipificación de la calidad de potencia recibida con la que se trabajara en base al valor de RSCP medido en sitio.

| RANGOS DE RSCP                  | TIPIFICACIÓN    |
|---------------------------------|-----------------|
| $RSCP \geq -70$ dBm             | <b>OPTIMA</b>   |
| $-70$ dBm > $RSCP \geq -75$ dBm | <b>BUENA</b>    |
| $-75$ dBm > $RSCP \geq -83$ dBm | <b>REGULAR</b>  |
| $-83$ dBm > $RSCP \geq -91$ dBm | <b>MALA</b>     |
| $-91$ dBm > $RSCP$              | <b>MUY MALA</b> |

**Tabla 11:** Tipificación de RCSP por rango de valores.

- ❖ Ec/Io: es un parámetro que relación la energía por Chip bit con la densidad energética de la perturbación total (interferencia), se mide en escala logarítmica (dBm) y sus rangos de valores son los mostrados en la tabla N° 12.

Esta es una medida muy importante, que de alguna manera deja de lado a la fuerza global de la señal, y se centra en la mejor forma de evaluar la señal del canal piloto, en relación con el ruido que interfiere con él.

| RANGOS DE Ec/Io                  | TIPIFICACIÓN |
|----------------------------------|--------------|
| $Ec/Io > -6$ dBm                 | OPTIMA       |
| $-6$ dBm $> Ec/Io \geq -9$ dBm   | BUENA        |
| $-9$ dBm $> Ec/Io \geq -12$ dBm  | REGULAR      |
| $-12$ dBm $> Ec/Io \geq -15$ dBm | MALA         |
| $-15$ dBm $> Ec/Io$              | MUY MALA     |

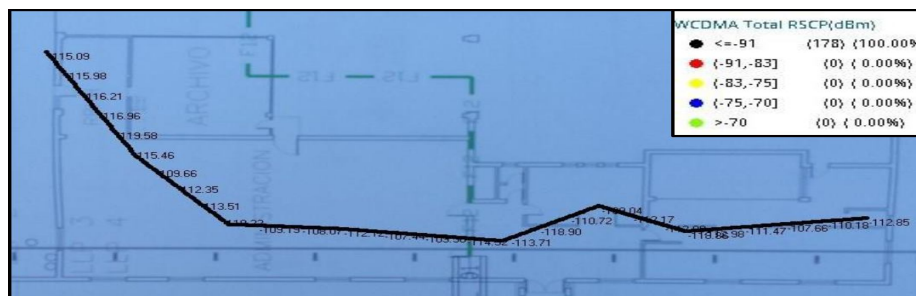
**Tabla 12:** Tipificación de Ec/Io por rango de valores.

### 3.3.7. Walk Test (inicial)

Una vez definidos los parámetros que deseamos medir en la oficina del cliente, realizamos una medición con un equipo celular Smartphone y un programa especializado para realizar este tipo de mediciones (G-Nettrack PRO). Tanto el hardware como el software necesarios para realizar estas pruebas son básicos y no se requiere de instrumentos sofisticados.

#### Medición de RSCP planta baja.

Como se observa en la figura N° 77, los valores medidos para todos los puntos dentro de las oficinas son pésimos y la señal de los nodos outdoor llega con baja potencia (RSCP  $\leq -91$  dBm)



**FIGURA 77:** Walk test del cliente BAM SA, estado inicial RSCP. Planta baja.

#### Medición de RSCP primer piso.

La misma medición en planta alta arroja resultados similares, con una muy baja potencia de señal medida. La figura N° 78 muestra valores similares a la planta baja.

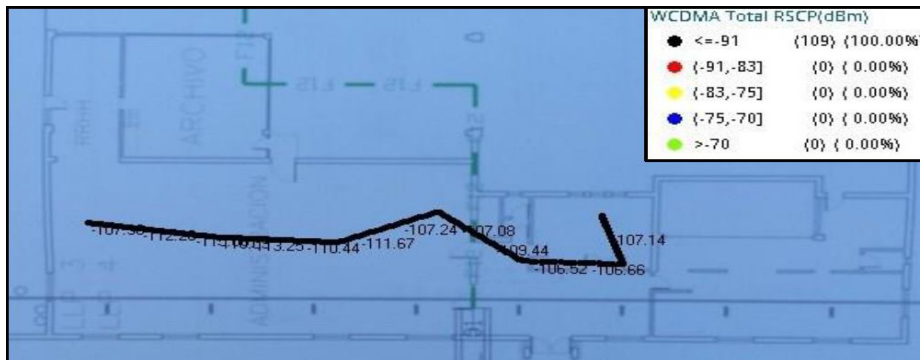


FIGURA 78: Walk test del cliente BAM SA, estado inicial RSCP. Primer piso.

Medición de Ec/Io planta baja.

En cuanto a los valores de Ec/Io se puede observar, en la planta baja, que los mismos se encuentran en rangos inadmisibles y en pocos puntos en rangos regulares según nos muestra la figura N° 79.

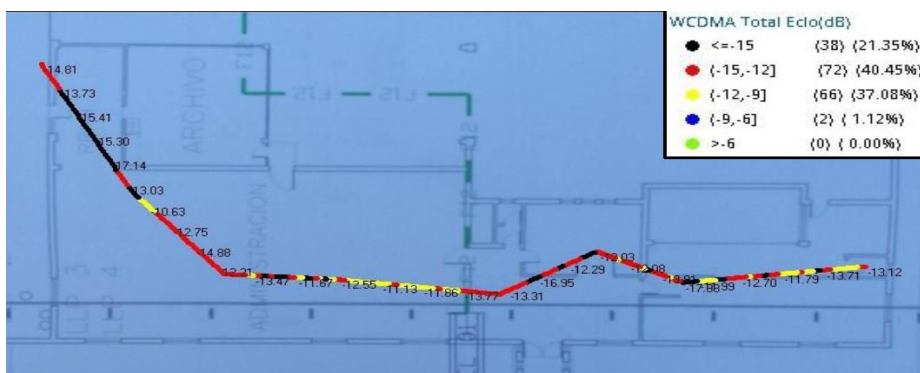


FIGURA 79: Walk test del cliente BAM SA, estado inicial Ec/Io. Planta baja.

Medición de Ec/Io planta primer piso.

Los valores medidos siguen oscilando entre regulares y muy malos. Figura N° 80.



FIGURA 80: Walk test del cliente BAM SA, estado inicial Ec/Io. Primer piso.

En forma resumida, los valores de señal medidos no son óptimos y esto explica la experiencia del cliente a la hora de utilizar los servicios de voz. Analizaremos una propuesta tecnológica que mejore estos valores para de esta forma mejorar los KPI del servicio de voz.

### 3.4. Análisis de solución tecnológica a desarrollar.

Con el fin de definir una solución técnica para aplicar en las instalaciones del cliente BAM SA, se analizaron 3 tipos de soluciones técnicas, dos de ellas soluciones repetidoras (BDA y CEL FI) y la tercera la instalación de una SMALL CELL. Para este análisis procederemos a realizar una matriz de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), y con esta matriz logramos tomar una decisión técnica fundamentada para aplicarla en el edificio del cliente BAM SA.

#### 3.4.1. FODA solución BDA.

La tabla N° 13 muestra el análisis FODA realizado para esta tecnología, luego se explicará brevemente cada punto enunciado.

| FODA BDA   |   |
|--|---|
| FACTORES INTERNOS  | FACTORES EXTERNOS   |
| <b>FORTALEZAS</b>  | <b>AMENAZAS</b>   |
| HARDWARE ESTABLE Y BARATO  | ALTA AFECTACIÓN Y SIN AVISO POR PROBLEMAS DE ENERGIA.               |
| SOLUCION ALTAMENTE DESPLEGADA.   | ANTE LA CAIDA DE ANTENA DONORA DEPENDE DE UNA REORIENTACION MANUAL. |
| SE PUEDE RE ORIENTAR LA ANTENA DONORA EN CASO NECESARIO.                 | PUEDE GENERAR INTERFERENCIAS EN NODOS EXTERNOS.                     |
|  | NUEVAS TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS CON MAS VIRTUDES.                   |
| <b>DEBILIDADES</b>   | <b>OPORTUNIDADES</b>  |
| DEPENDE DE UNA ANTENA DONORA PARA REPETIR.                               | TECNOLOGIA ACCESIBLE.   |
| CONSUME RECURSOS DE LA ANTENA DONORA.                                    | MANTENIMIENTO BAJO  |
| COMPORTAMIENTO ESTATICO EN CASO DE MODIFICACION DE ENTORNO DE COBERTURA. |   |
| SIN GESTION REMOTA NI ALARMAS DE SERVICIO.                               |   |

**Tabla 13:** Análisis FODA para solución BDA.

#### Debilidades.

Las principales debilidades de esta tecnología de repetición son las siguientes:

- ❖ **DEPENDE DE UNA ANTENA DONORA PARA REPETIR:** Para instalar esta solución se necesita definir una antena donora, la solución es apuntada a esta antena donora con una antena direccional yagui y en caso de indisponibilidad de servicio de esta antena, se tendrá el mismo efecto en la solución BDA instalada.

- ❖ *CONSUME RECURSOS DE LA ANTENA DONORA:* La antena donora a elegir, tendrá que brindar todos los recursos de red para la cantidad de clientes que la solución BDA tome. Esto puede ser un problema en caso que la antena donora comience a sobrecargarse.
- ❖ *COMPORTAMIENTO ESTÁTICO EN CASO DE MODIFICACIÓN DE ENTORNO DE COBERTURA:* Cuando se planifica la instalación de una solución BDA se tiene en cuenta el entorno de cobertura, pero este no es estático y puede modificarse agregando o quitando nodos al entorno. Esta tecnología no es en general adaptativa a estas modificaciones y puede inclusive traer problemas de interferencia en nuevos nodos.
- ❖ *SIN GESTIÓN REMOTA NI ALARMAS DE SERVICIO:* Generalmente este tipo de tecnologías no tiene módulos de gestión, salvo algunas excepciones que aumentan mucho los costos de la misma. Al no tener gestión, la operadora y el cliente no pueden conocer en forma precisa cual es el inconveniente que tiene la solución en caso de mal funcionamiento. Generalmente se van descartando problemas en principio revisando el estado de la antena donora para luego revisar la solución del cliente en sitio.

#### Fortalezas.

A continuación se enumeran las fortalezas de la solución tecnológica BDA:

- ❖ *HARDWARE ESTABLE Y BARATO:* Debido a su sencillez electrónica y su buena protección exterior esta solución es muy estable sin una alta tasa de ruptura, además es barata en comparación de otras tecnológicas.
- ❖ *SOLUCIÓN ALTAMENTE DESPLEGADA:* Es una solución altamente desplegada para problemas de cobertura, tanto por operadoras como por clientes mediante técnicos especializados.
- ❖ *SE PUEDE RE ORIENTAR LA ANTENA DONORA EN CASO NECESARIO:* Si bien la solución necesita definir una antena donora para captar señal de la misma, en caso de problemas con esta antena, se puede reorientar en forma manual a otra antena donora. (teniendo en cuenta el ancho de banda que se desea repetir y las configuraciones de los atenuadores del BDA).

#### Amenazas.

Las amenazas de esta solución son las siguientes:

- ❖ *ALTA AFECTACIÓN Y SIN AVISO POR PROBLEMAS DE ENERGIA:* Debido que esta solución no tiene por lo general algún banco de baterías para brindar un tiempo de



funcionamiento ante un corte de suministro de energía, su funcionamiento depende del suministro de energía ya sea por un operador o porque donde se pretende instalar cuenta con algún tipo de generador.

- ❖ **ANTE LA CAIDA DE ANTENA DONORA DEPENDE DE UNA REORIENTACIÓN MANUAL:** Si bien esta amenaza es muy similar a una fortaleza enumerada, el problema radica en los tiempos de reacción para la reorientación manual, esto por lo general lo hace un técnico especializado y se debe tener en cuenta si conviene esta reorientación o la espera de la normalización de servicio de la antena donora.
- ❖ **PUEDE GENERAR INTERFERENCIAS EN NODOS EXTERNOS:** Debido a que su configuración no se adapta a los cambios de red (es completamente estática), en caso de que se instale un nodo más cercano que pueda cubrir de buena forma el recinto donde se instaló el BDA, este puede levantar el piso de ruido de la zona.
- ❖ **NUEVAS TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS CON MÁS VIRTUDES:** Tanto las tecnologías de Cel fi como las small cell son tecnologías más convenientes por tener mejores prestaciones técnicas y ser más adaptativas a la red de los operadores móviles.

#### Oportunidades.

Las oportunidades enumeradas son las siguientes:

- ❖ **TECNOLOGIA ACCESIBLE:** Debido a que es una tecnología ya desplegada y por demás conocida se encuentran disponibles los elementos necesarios para su instalación y mantenimiento a un costo accesible y rentable.
- ❖ **MANTENIMIENTO BAJO.** Una vez instalada una solución BDA, los costos de mantenimiento son muy bajos si la antena donora se encuentra funcionando correctamente y la solución no es alterada, el servicio es muy estable y seguro, haciendo bajos sus costos de mantenimiento.

### 3.4.2. FODA solución CEL FI.

| FODA CEL FI                                    |   |
|--|---|
| FACTORES INTERNOS                              | FACTORES EXTERNOS                                       |
| <b>FORTALEZAS</b>                              | <b>AMENAZAS</b>   |
| BAJO CONSUMO DE ENERGIA.                       | HARDWARE MAS DELICADO Y PROPENSO A ROTURA.              |
| GESTION REMOTA UTILIZANDO SERVICIO DE DATOS.   | PROBLEMAS DE CAPACIDAD POR SATURACION DE ANTENA DONORA. |
| REPITE SOLAMENTE NODOS DE OPERADORA SETEADA.   | NUEVAS TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS CON MAS VIRTUDES.       |
| SE ADAPTA A LA MEJOR ANTENA DONORA DISPONIBLE. |   |
| <b>DEBILIDADES</b>                             | <b>OPORTUNIDADES</b>                                    |
| DEPENDE DE ALGUNA ANTENA DONORA PARA REPETIR.  | TECNOLOGIA ACCESIBLE.                                   |
| CONSUME RECURSOS DE LA ANTENA DONORA.          | MANTENIMIENTO BAJO                                      |
| HARDWARE CON COSTOS MAS CAROS QUE BDA.         |   |
|  |   |

**Tabla 14:** Análisis FODA para solución Cel Fi.

#### Debilidades.

Las principales debilidades de esta tecnología son las siguientes:

- ❖ *DEPENDE DE ALGUNA ANTENA DONORA PARA REPETIR:* Si bien estos dispositivos tienen la particularidad de elegir la mejor celda donora (por nivel de potencia recibida) siguen siendo repetidores dependientes.
- ❖ *CONSUME RECURSOS DE LA ANTENA DONORA:* El Cel Fi es un repetidor mejorado y lo que hace es tomar los recursos de acceso de la celda donora, ocupando esto recursos para compartirlos con los móviles que se acampen en la celda.
- ❖ *HARDWARE CON COSTOS MÁS ELEVADOS QUE UNA BDA:* Debido a que implementa mejoras en el funcionamiento, reduce tamaño y consumo de energía, estos elementos son más caros en comparación que los repetidores BDA.

#### Fortalezas.

A continuación se enumeran las fortalezas los CEL FI:

- ❖ *BAJO CONSUMO DE ENERGIA:* Los equipos Cel fi son de menor capacidad energética que los hacen adaptables a diversos escenarios de adaptación, como por ejemplo repetición de señal en vehículos para monitoreo.
- ❖ *GESTION REMOTA UTILIZANDO SERVICIO DE DATOS:* Los equipos Cell fi pueden ser conectados a la red para visualización de estado del mismo y parámetros de configuración.

- ❖ *REPITE SOLAMENTE NODOS DE OPERADORA SETEADA*: Al poder configurar el país y la operadora de los nodos que debe mejorar, el Cel Fi solamente mejora amplifica la señal de los nodos configurados por el fabricante y /o instalador.
- ❖ *SE AMOLDA A LA MEJOR ANTENA DONORA DISPONIBLE*: Debido a que no tiene este dispositivo no tiene que tener su antena receptora de señal apuntando a un nodo en particular, puede realizar un barrido para reconocer los nodos del operador que está configurado y repetir el de mayor potencia. Esta cualidad es un punto superador ya que los clientes que tienen instalado un BDA y tienen una afectación directa en caso de que su antena donora tenga algún inconveniente.

#### Amenazas.

Las amenazas de esta solución son las siguientes:

- ❖ *PROBLEMAS DE CAPACIDAD POR SATURACIÓN DE ANTENA DONORA*: Al igual que la solución BDA esta solución tiene la amenaza de tener problemas cuando el nodo que repite de señal se congestione por cantidad de clientes.
- ❖ *NUEVAS TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS CON MÁS VIRTUDES*: las small cell son tecnologías más convenientes por tener mejores prestaciones técnicas y ser más adaptativas a la red de los operadores móviles y no consumir los recursos de los nodos externos.

#### Oportunidades.

Las oportunidades enumeradas son las siguientes:

- ❖ *TECNOLOGIA ACCESIBLE*: Debido a que es una tecnología ya desplegada y por demás conocida se encuentran disponibles los elementos necesarios para su instalación y mantenimiento a un costo accesible y rentable.
- ❖ *MANTENIMIENTO BAJO*: Debido a que se puede observar algunos parámetros de funcionamiento en forma remota, esto permite poder analizar o reiniciar el equipo sin necesidad de movilizar a un técnico.

### 3.4.3. FODA solución SMALL CELL.

| FODA SMALL CELL  |  |
|--|--|
| FACTORES INTERNOS                                      | FACTORES EXTERNOS                                |
| <b>FORTALEZAS</b>                                      | <b>AMENAZAS</b>                                  |
| AGREGA RECURSOS PROPIOS A LA RED.                      | POSIBLES PROBLEMAS CON ACCESO FIJO.              |
| NO NECESITA DE FIBRA PARA CONECTARSE A LA RED.         | DEFINICION DE COSTOS DE SERVICIO E INSTALACION.  |
| SE INTEGRA COMO UN NODO MAS A LA RED DEL OPERADOR.     |  |
| SOLUCIÓN FLEXIBLE PARA PROBLEMAS DE COBERTURA.         |  |
| <b>DEBILIDADES</b>                                     | <b>OPORTUNIDADES</b>                             |
| NECESIDAD DE DEFINIR UN BACKHALL.                      | NUEVA TECNOLOGIA CON GRANDES EXPECTATIVAS.       |
| NO ES UNA TECNOLOGIA MADURA Y ESTA EN ETAPA DE PRUEBA. | MERCADO APTO PARA ESTE TIPO DE SOLUCIONES.       |
| HARDWARE TODAVIA NO DISPONIBLE EN FORMA MASIVA.        | NUEVOS OPORTUNIDADES DE NEGOCIO (HOGARES).       |
|  | ACEPTACION DE ENTIDADES REGULATORIAS NACIONALES. |

**Tabla 15:** Análisis FODA para solución Small Cell.

#### Debilidades.

Las debilidades de los small cell son las siguientes:

- ❖ **NECESIDAD DE DEFINIR UN BACKHALL:** Se deben conectar a la red por algún medio de transmisión, se define un medio dedicado o compartido para su conexión con el corazón de la red.
- ❖ **NO ES UNA TECNOLOGÍA MADURA Y ESTA EN ETAPA DE PRUEBA:** Este punto es el principal obstáculo, son pocas las operadoras que ya utilizan estos dispositivos para su despliegue masivo. La operadora B todavía está en etapa de prueba de la solución y la definición comercial de costos.

#### Fortalezas.

Las fortalezas que esta tecnología presenta son extensas, algunas de ellas son:

- ❖ **AGREGA RECURSOS PROPIOS A LA RED:** Al no ser un repetidor, no consume recursos de algún nodo si no que posee recursos de acceso propios, dándole una excelente ventaja respecto de las otras tecnologías propuestas.
- ❖ **INTERCONEXION CON LA RED MOVIL ADAPTATIVA:** Esta tecnología se adapta a los medios de transportes y conexión fija más utilizados como los accesos XDSL, FTTH, etc.
- ❖ **SE INTEGRA COMO UN NODO MÁS A LA RED DEL OPERADOR:** Es un equipo transparente tanto para el cliente como para el núcleo de la Red, tiene controladores propios que los adapta a toda la arquitectura y protocolos de la Red Movil.

- ❖ **SOLUCIÓN FLEXIBLE PARA PROBLEMAS DE COBERTURA:** Debido a su versatilidad y su interconexión accesible puede convertirse en la tecnología necesaria para solucionar los problemas en sitios internos con gran atenuación, las zonas de alta densidad de clientes y despliegues en zonas poco pobladas. Su bajo costo de instalación y mantenimiento lo convierte en un potencial elemento a instalar en los domicilios de los clientes fusionándolos con tecnologías como WIFI.

#### Amenazas.

Las amenazas de los small cell son las siguientes:

- ❖ **POSIBLES PROBLEMAS CON ACCESO FIJO:** Resta definir en cada escenario que se pretenda utilizar el uso de los recursos de acceso, si son compartidos con el cliente, propios para la solución y con esta definición los costos del servicio.
- ❖ **DEFINICIÓN DE COSTOS DE SERVICIO E INSTALACIÓN:** Una vez definidos los costos y la modalidad del Backhaul elegidos, se debe analizar los costos de instalación y servicio final. Generalmente son las empresas particulares las que están dispuestas a pagar una mejora de servicio de comunicación en los recintos interiores de su empresa, pero no así los clientes individuos.

#### **3.4.4. Definición de soluciones técnicas a instalar.**

De acuerdo a los análisis FODA realizados para las 3 soluciones técnicas que presentamos con el fin de mejorar el servicio en lugares indoor que tienen problemas con su servicio de voz decidimos instalar un equipo BDA y un equipo Cel Fi.

Si bien la mejor solución técnica es la instalación de una small cell, el impedimento más grande para avanzar con esta solución es que **esta tecnología no está madura** y depende de cada operadora el grado de avance y puesta en servicio de esta tecnología, ya que al conectarse y ser parte de la red, necesita autenticación y configuración para que funcione como parte de la red de la operadora donde trabajará. La operadora B todavía se encuentra realizando pruebas en maquetas para analizar la mejor forma de instalar small cell conectándolos a su red y que estos nodos trabajen de forma transparente para el usuario. Además todavía se está trabajando en una solución comercial para definir si la conexión a la red se realizará por un enlace compartido con el cliente o se instalará un enlace dedicado para conectar en forma separada esta solución.

**Fundamentos:**

- ✓ Soluciones estables y de gran despliegue.
- ✓ Hardware accesible y multi marcas disponibles.
- ✓ Instalación fácil y sencilla.
- ✓ Nodos de operadora B cercanos y baja cantidad de clientes.
- ✓ Costos bajos de Hardware, accesorios e instalación.

### **3.5. Soluciones elegidas a instalar en BAM SA.**

En este caso instalaremos una solución BDA como una forma de mejorar el servicio en forma veloz, simple y económicamente viable. Y sumaremos un equipo Cel Fi en la oficina de jefatura.

Para dar solución al problema de cobertura interna que tiene la empresa BAM SA, decidimos utilizar dos tecnologías de la siguiente forma:

- **Instalación de BDA** para toda el edificio relevado utilizando 5 antenas internas para repartir señal en todo el edificio, salvo en la oficina de jefatura de sistemas e informática que se desplegara otra solución.
- **Instalación de Cel Fi** puntualmente en la oficina de la jefatura de sistema e informática debido a que no existe la posibilidad de tender el cable necesario para la conexión de la antena por un tema de diseño y reciente refacción de la oficina.

### **3.6. Instalación de BDA.**

Primeramente, acordamos instalar la BDA en la plata baja y en un sector donde se encuentra aislado de los operarios y tiene la posibilidad de ser energizado con una línea monofásica de 220 Volts, 50 Hz, la misma se encuentra aislada eléctricamente y cuenta con protecciones térmicas, diferenciales propias y además puesta a tierra.

La antena yagui, que captará la antena donora será instalada en la terraza, orientando la misma a la antena donora elegida, esta antena yagui se conectará a la BDA por un cable Coaxil que se canalizará por dentro de las bandejas asignadas por personal técnico de BAM SA.

#### **3.6.1. Instalación de antenas repetidoras.**

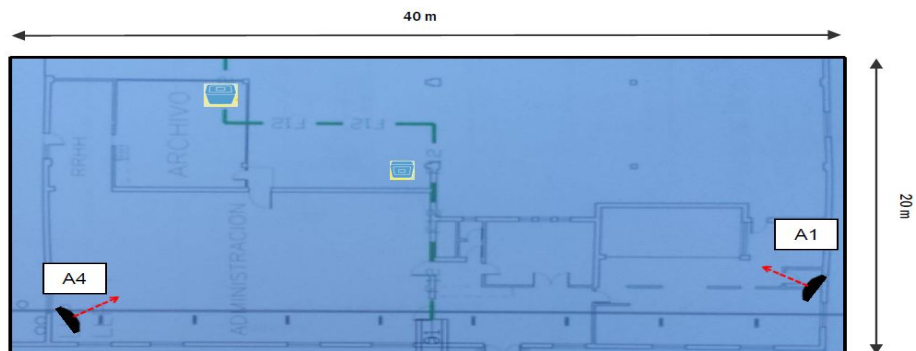
En la planta baja se instalarán 3 paneles (A2, A3 y A5) que distribuirán la señal captada y amplificada dentro de los sectores más críticos. Se utilizará cable Coaxil para la

distribución de la señal a los paneles interiores (A2, A3 y A5) y se derivarán la señal con acopladores rígidos (S1, S2 y S3). La figura N° 81 muestra detalladamente el esquema de conexión que se realizará en la planta baja del edificio BAM SA.



**FIGURA 81:** Esquema de instalación de solución en Planta Baja.

La figura N° 82 muestra la distribución de los paneles A1 y A4 conectados al BDA y además muestra la conexión de los dos elementos que componen la solución cel fi en la oficina de jefatura de informática y sistemas (ex Archivo).



**FIGURA 82:** Esquema de instalación de solución en Primer piso.

### 3.6.2. Diagrama final de instalación de BDA.

La conexión entre los elementos repetidores (5 paneles) y la antena que captará la señal se realizará con cable Coaxil (RG6), la figura N° 83 muestra la distancia de cada tramo y los elementos bien definidos, se puede observar los 3 derivadores que se emplearán para distribuir la señal a los paneles y la antena yagui que captará la señal.

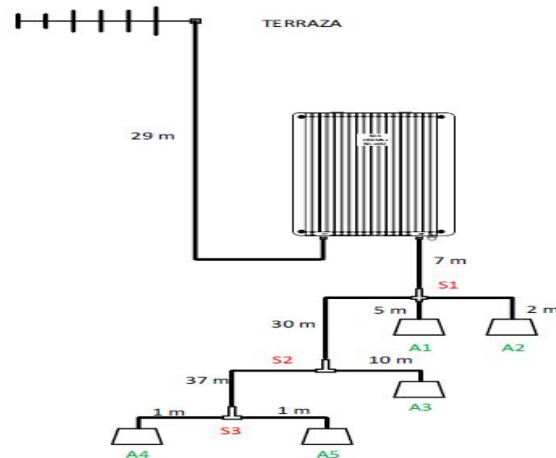


FIGURA 83: Diagrama de instalación BDA. BAM SA.

### 3.6.3. Elección de antena Donora de BDA.

La solución BDA instalada será apuntada con precisión hacia una celda de la que tomará servicio, esta celda se elegirá midiendo los parámetros de calidad de señal en el sitio donde se instalará la antena yagui que captará la misma. Se medirá los rangos de RSCP y Ec/Io para proponer un nodo y además se tomara en cuenta la cercanía del mismo y la línea de vista desde la antena yagui a la antena donora. En este caso por cercanía existen dos nodos que la operadora B puede disponer en las cercanías del cliente, los mismos se observan en la figura N° 84, los mismos tienen la denominación VSR024 y VSR023.

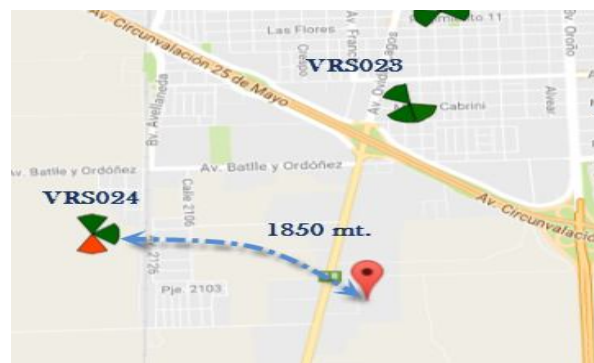
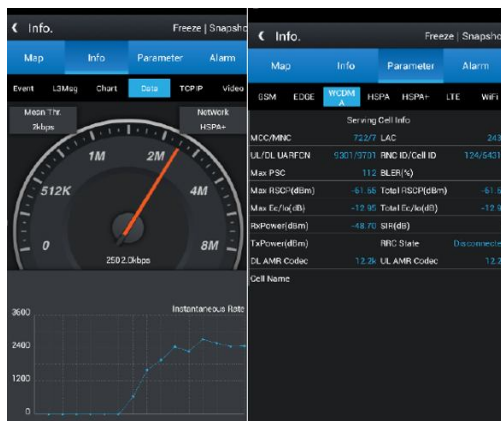


FIGURA 84: Candidatos para nodo dador de señal. BDA BAM.

Realizando las mediciones mencionadas los resultados se muestran en la imagen N° 85, donde se observa los valores de potencia recibida para el nodo más cercano VRS024, cuyo identificador de celda (Cell Id) es 54314. Además se realizó también una prueba de descarga de datos, obteniendo valores aceptables (2,5 Mbps máximo).





**FIGURA 85:** Mediciones de antena donora (VRS024)

En cuanto a la instalación de la antena yagui que captara la señal de la antena donora, se puede observar que los únicos obstáculos entre la antena y el nodo son dos árboles de gran tamaño, pero los mismos no traen gran inconveniente. Figura N° 86.



**FIGURA 86:** Línea de vista de antena donora (VRS024) y antena captora de señal.

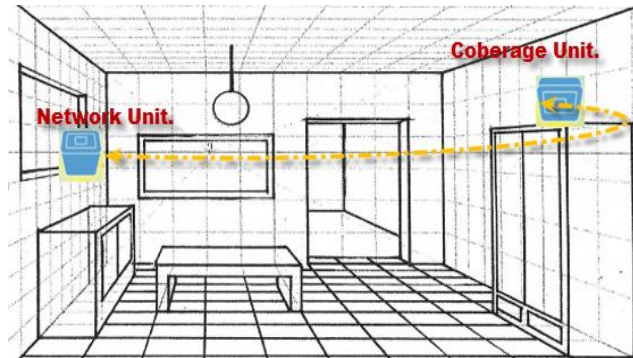
### 3.7. Instalación de solución Cel Fi.

Debido a que en la oficina de la jefatura del departamento de sistemas e informatica de BAM SA se realizaron modificaciones edilicias hace poco y ademas de que los referentes tecnicos de la empresa BAM SA resaltaron que necesitan una cobertura óptima en esta oficina ya que en la misma se desarrollan reuniones importantes y claves para nuestros clientes, decidimos instalar una solución CEL Fi ya que tecnicamente es la que más se adapta a los requerimientos solicitados y asegura una disponibilida del servicio, inclusive si el nodo donor de la solución BDA (VNR024) pueda llegar a tener algun porblema de disponibilidad.

Básicamente la solucían consta de dos elementos, el primero es un Network Unit, que es el encargado de tomar la mejor señal disponible en el sitio instalado, se recomienda que el mismo este cercano a una ventana para captar la señal mas optima del sitio. El segundo elemento es el Coverage Unit, que se conecta con la Network Unit (x Wifi o por

cable UTP), para repetir la señal amplificada en la zona de baja cobertura. La figura N° 87 ejemplifica la ubicación recomendada, solamente necesitan ser conectados a la red electrica (220 V – 50 Hz).

Ademas y como se menciona este tipo de equipos pueden identificar los nodos de la prestadora B al tener configurado su PLMID (País y prestadora).

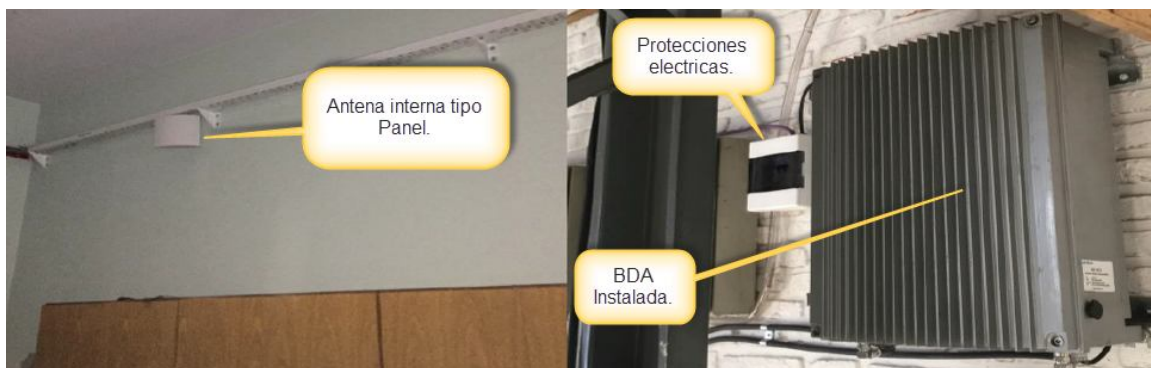


**FIGURA 87:** Instalación recomendada de Cel fi.

### 3.8. Instalación finalizada.

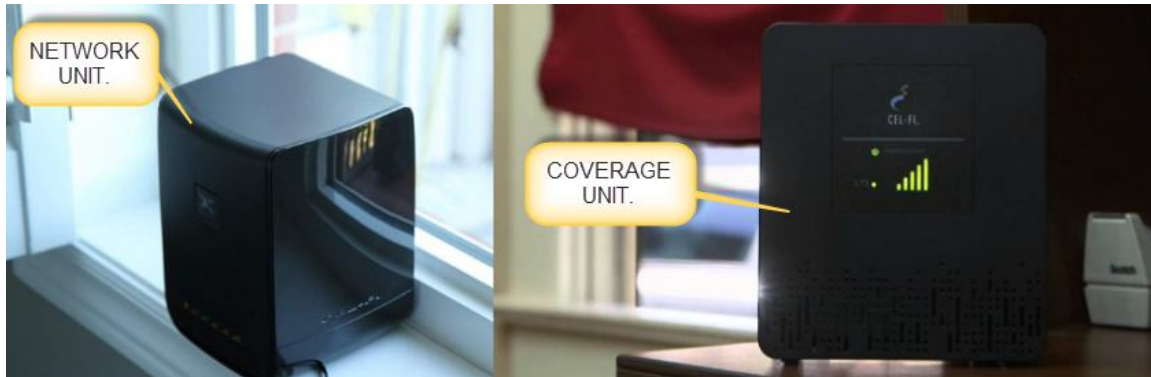
Las siguientes imágenes muestran la instalación finalizada y en sitio tanto para la BDA como el equipo Cel Fi.

La figura N° 88 muestra el BDA instalado con su llave termica monofasica individual y ademas se muestra una de las antenas internas que reparte señal en la instalación.



**FIGURA 88:** Instalación BDA Finalizada. BAM SA.

Tambien se puede observar en la figura 89 el Cel Fi instalado y con un nivel optimo de señal.



**FIGURA 89:** Instalación Cel Fi Finalizada. BAM SA.

### 3.9. Análisis técnico final.

Como se indicó al comienzo del análisis en BAM SA, una vez instalada la solución indoor elegida se procedió a realizar las pruebas de calidad de señal y calidad de servicio de voz para comparar las mejoras.

#### 3.9.1. Walk Test (final)

Nuevamente se realizaron las mediciones recorriendo las instalaciones donde se instaló la nueva solución técnica de cobertura interna, de esta forma se obtuvieron los siguientes valores.

##### Medición de RSCP planta baja.

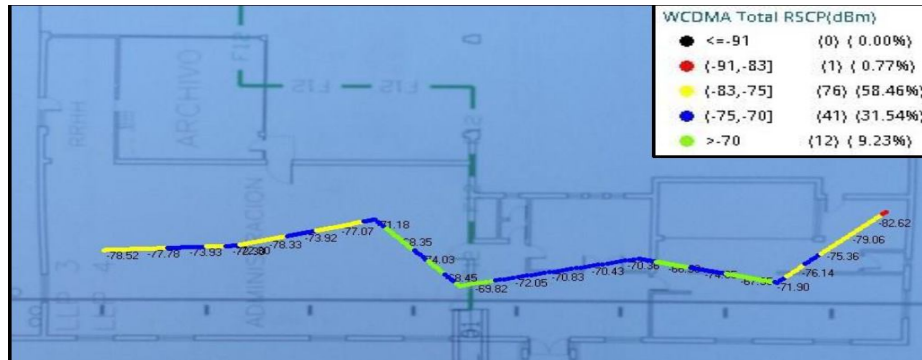
Como se observa, los valores medidos para todos los puntos dentro de las oficinas mejoraron notablemente, con valores superiores a los -75 dBm. Figura N° 90.



**FIGURA 90:** Walk test del cliente BAM SA, estado final RSCP. Planta baja.

Medición de RSCP primer piso.

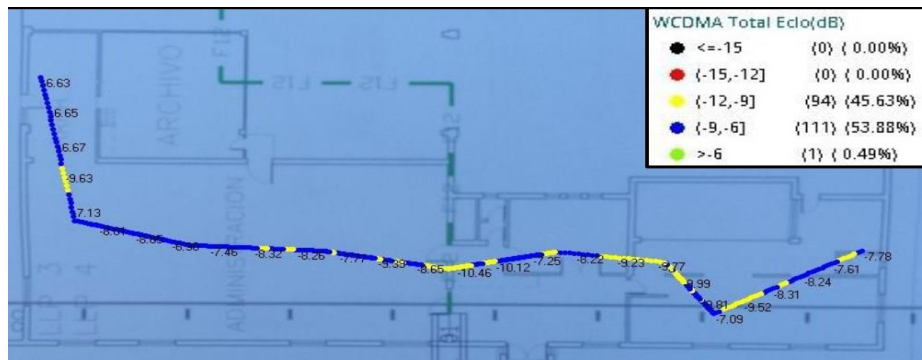
En la planta alta también se notan las mejoras de la potencia de la señal recibida de la celda donora. Valores superiores a los -75 dBm. Figura N° 91.



**FIGURA 91:** Walk test del cliente BAM SA, estado final RSCP. Primer piso.

Medición de Ec/Io planta baja.

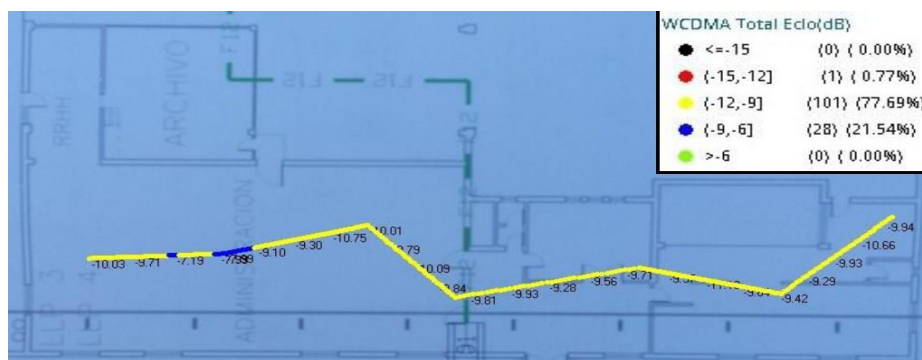
En cuanto a los valores de Ec/Io se observa que si bien los valores no son los óptimos están dentro de los rangos aceptables. Valores entre -6 y -12 dB. Figura N° 92.



**FIGURA 92:** Walk test del cliente BAM SA, estado final Ec/Io. Planta baja.

Medición de Ec/Io planta primer piso.

Los valores de la relación Ec/Io se encuentra aceptables. Valores entre -6 y -12 dB. Figura N° 93.



**FIGURA 93:** Walk test del cliente BAM SA, estado final Ec/Io. Primer piso.

Podemos concluir que los parámetros de calidad de red fueron mejorados notablemente, esto deberá mejorar los KPI del servicio de voz, para verificar esto necesitaremos realizar nuevamente las mismas pruebas de llamados realizadas al relevar el servicio antes de las instalaciones.

**3.9.2. Pruebas e Indicadores de calidad de servicio de voz (Estado Final).**

De igual manera de cómo se realizaron las pruebas de servicio de voz para las 4 líneas elegidas, en los mismos rangos horarios y con las mismas condiciones se proceden a realizar las pruebas una vez instalada la solución técnica. Estos indicadores marcarán de forma clara la mejora del servicio y serán los indicadores que el cliente experimente para apreciar la mejora del servicio.

**3.9.3. Medición de accesibilidad de servicio (estado final).**

Se realizó la prueba de accesibilidad del servicio realizando 40 llamados en el rango horario estipulado con 4 líneas de la operadora B. Los valores iniciales mostraron que el 38 % de las llamadas no cumple los parámetros de accesibilidad deseados.

La tabla N° 16 muestra las mejoras en el indicador de accesibilidad de llamado, se observa que solamente el 5% de las llamadas están fuera del rango deseado y además que el tiempo promedio de accesibilidad se redujo considerablemente.

| <i>Lineas</i> | Tiempo promedio de AS | Llamadas realizadas. | Dentro del AS establecido | Fuera del AS establecido |
|---------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|
| Linea A       | 5                     | 10                   | 9                         | 1                        |
| Linea B       | 6                     | 10                   | 10                        | 0                        |
| Linea C       | 4.5                   | 10                   | 10                        | 0                        |
| Linea D       | 5                     | 10                   | 9                         | 1                        |
|               |                       | <b>40</b>            | <b>38</b>                 | <b>2</b>                 |
|               |                       |                      |                           | <b>5%</b>                |

**Tabla 16:** Accesibilidad de la Red móvil del operador B. Estado final.

### 3.9.4. Medición de Retenibilidad del servicio (estado final).

Las pruebas de Retenibilidad de llamadas que se realizaron al inicio del análisis dieron como resultado que el 68 % de las llamadas se cortaban por motivos ajenos al usuario, este era el principal problema que tenía el servicio de voz.

La tabla N° 17 muestra los resultados de esta prueba repetida, esta vez se observa que el 98 % de las llamadas tiene una Retenibilidad mayor a la esperada mejorando notablemente el servicio de voz.

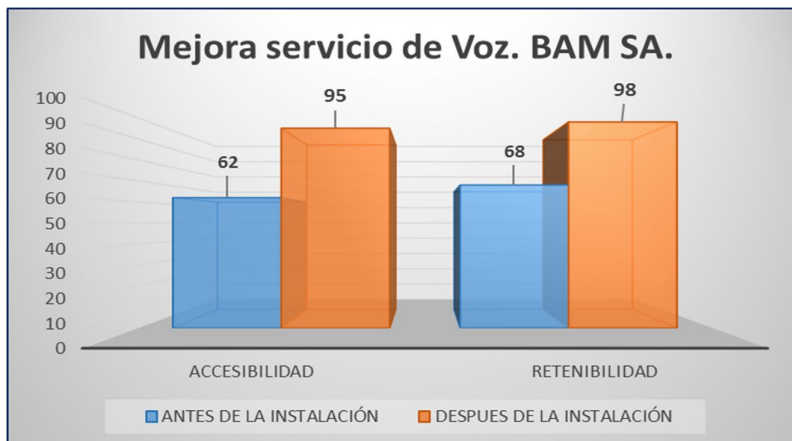
| <i>Lineas</i> | Llamadas cursadas | Llamadas caidas antes de <= 2 min | Llamadas caidas antes de > 2 min |
|---------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Linea A       | 10                | 0                                 | 10                               |
| Linea B       | 10                | 0                                 | 10                               |
| Linea C       | 10                | 0                                 | 10                               |
| Linea D       | 10                | 1                                 | 9                                |
|               | <b>40</b>         | <b>1</b>                          | <b>39</b>                        |
|               |                   |                                   | <b>98%</b>                       |

**Tabla 17:** Retenibilidad de la Red móvil del operador B. Estado final.

### 3.9.5. Conclusiones de servicio.

Las mejoras del servicio de voz son las esperadas y cumplen altos valores de calidad de servicio, se mejoró notablemente la accesibilidad y Retenibilidad de las llamadas en toda la instalación cubierta por la solución indoor instalada. El gráfico N° 3 muestra las mejoras para los dos indicadores medidos, la accesibilidad de servicio creció un 33% llegado al

95% del valor muy cercano al ideal y de la misma forma la retenibilidad de llamadas es del 98% creciendo un 30 % por encima de los valores medidos sin la solución BDA instalada.



**GRAFICO 3:** Mejora de indicadores de calidad de servicio de voz. BAM SA.

De esta forma él se presentó el servicio a los referentes técnicos de BAM SA, los cuales mostraron su conformidad por las mejoras experimentadas luego de la instalación, se puede concluir que con las instalación de la solución de cobertura indoor la operadora B cuenta con un excelente servicio de voz dentro de los establecimientos del cliente.

Con esta nueva realidad técnica, la empresa BAM SA, está dispuesta a migrar el resto del parque de líneas a la operadora B.

### 3.10. Conclusiones finales del capítulo.

En este capítulo se presentó un problema real, el cual fue analizado midiendo por un lado indicadores orientados al servicio como la retenibilidad y accesibilidad, luego se realizó una caminata dentro de las instalaciones de BAM SA para medir parámetros orientados a la calidad de señal.

Además se analizó el entorno de cobertura de la operadora B en la zona con el fin de evaluar algún tipo de instalación indoor de repetición.

Se realizó un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas para los 3 tipos de alternativas con la que podíamos solucionar el inconveniente del servicio de voz. Se eligieron 2 alternativas para ser desplegadas, un BDA y un Cel Fi, pero la conclusión técnica del trabajo fue que la mejor alternativa podría ser un small cell instalado, el problema real radica que esta tecnología no está completamente madura y no se podía asegurar su correcto funcionamiento.

Luego de la elección de las soluciones técnicas, se procedió a instalar la BDA eligiendo una antena donora por cercanía y línea de visión relativamente despejada, el Cell Fi, no necesita elección de donora ya que se adapta a la mejor señal que obtiene.

Una vez instalada la solución se realizaron nuevamente las mediciones de calidad para contrastarlas con las mediciones iniciales y verificar una mejora. Esta mejora se verifico en todos los aspectos tanto de servicio como de señal.

Podemos resumir mencionando que esta solución es técnicamente factible, y cumple con las expectativas deseadas, ahora bien, las dos soluciones instaladas son soluciones que se comenzarán a dejar de utilizar una vez se avance con y estén disponibles en forma comercial las small cell, tanto la operadora B como el resto de las operadoras competidoras en argentina ya están definiendo como comercializar este producto.

En el siguiente capítulo se detallara cuáles son los equipos utilizados y que parámetros se tuvo en cuenta para la elección, luego se realizara un breve estudio de rentabilidad de la solución y se estudiara el repago de la misma con los valores de los servicios contratados por la empresa BAM SA.



#### 4. Elección de equipos y costos de la solución indoor instalada.

En el anterior capítulo se definió la solución a instalar, justificando la elección de la misma, se relevaron los parámetros de calidad antes y después de la instalación, tanto para la señal como para el servicio de voz, mostrando mejoras significativas.

En este capítulo de la práctica final de ingeniería desarrollaremos los equipos elegidos para dicha instalación, su fundamentación y los costos de los mismos, para luego realizar un breve plan de negocio y verificar la factibilidad económica del proyecto.

##### 4.1. Elección del equipo BDA.

Para la elección del equipo BDA que se instalara, se comparara dos equipos y fabricantes que pueden proveer los equipos necesarios para este proyecto, realizaremos comparativas de características específicas y relevantes para este proyecto.

La tabla N° 18 nos muestra los 7 puntos más relevantes que se desea comparar.

|                           |            | PROVEEDOR I | PROVEEDOR II |
|---------------------------|------------|-------------|--------------|
| PARAMETROS                | PESO %     | COMBA       | FIPLEX       |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | 40         | 33          | 13           |
| SOPORTE LOCAL             | 10         | 10          | 10           |
| REPUESTOS                 | 10         | 10          | 10           |
| REPARABILIDAD             | 5          | 5           | 2            |
| CASOS DE ÉXITO            | 10         | 10          | 5            |
| COSTOS                    | 25         | 20          | 25           |
| <b>TOTALES.</b>           | <b>100</b> | <b>88</b>   | <b>65</b>    |

**Tabla 18:** Características necesarias equipo BDA

A continuación se explicara cada una de los parámetros de la tabla comparativa y los valores obtenidos para cada fabricante.

Como se puede observar, el equipo que más puntos cumple es el BDA del fabricante Comba, y es el equipo que fue instalado. Un punto técnico fundamental a la hora de la elección fue la mayor potencia de salida del equipo, que nos permitirá realizar algunas ampliaciones en caso de que el cliente solicite las mismas.

##### 4.1.1. Especificaciones técnicas.

Se comprarán dos equipos BDA que son los siguientes:

- ✓ Comba RD-1932.
- ✓ Fiplex ULTRA COMPACT REPEATERS CP20-60.

Para realizar esta comparación se tendrá en cuenta la siguiente tabla con características técnicas necesarias para el correcto funcionamiento del equipo elegido, luego se analizará si los equipos elegidos cuentan o no con las características elegidas.

La siguiente tabla muestra las características que se busca del equipo, básicamente lo que se solicita es que repita la tecnología 3G o 2G y valores de potencia altos para realizar futuras ampliaciones en caso de ser necesario.

|                             |                  | PROVEEDOR I | PROVEEDOR II |
|-----------------------------|------------------|-------------|--------------|
| CARACTERISTICAS             | ESPECIFICACIONES | COMBA       | FIPLEX       |
| TECNOLOGÍAS DE USO          | GSM/UMTS         | SI          | SI           |
| VIGILANCIA REMOTA           | ALARMAS          | NO          | NO           |
| GANANCIA MAXIMA             | >= 70 Db         | SI          | NO           |
| Potencia de salida Downlink | >= 30 dBm        | SI          | NO           |
| Potencia de salida Uplink   | >= 30 dBm        | SI          | NO           |
| Protección física           | >= IP26          | SI          | SI           |

**Tabla 19:** Características técnicas solicitadas en equipo BDA.

Se solicita además que pueda tener algún módulo de vigilancia y alarmas, si bien sería de gran utilidad no es excluyente. Por último se solicita que tenga alguna protección física contra el polvo y líquidos debido a que la zona donde estará instalado se realizan fumigaciones en forma periódica, al ser BAM SA una empresa alimenticia.

En este punto el equipo que cumple con la mayor cantidad de los requerimientos es el equipo de Comba.

#### 4.1.2. Soporte Local.

Se requiere que el equipo adquirido tenga soporte local por si existe algún inconveniente con su funcionamiento y su instalación. Además en caso de que sea necesario poder realizar una consulta y asesoramiento local en sitio, necesitamos de especialistas que tengan la posibilidad de realizar este asesoramiento.

En el caso de Fiplex y Comba, ambas empresas tiene soporte y presencia local y cumplen con el requerimiento.

#### 4.1.3. Repuestos y Reparabilidad.

Debido a que estos equipos son provistos de empresas con presencia local, los mismos ofrecen el servicio de reparación de cada elemento de red. Hay que tener en cuenta los

tiempos de reparación que son aproximadamente de un mes, en caso de que el equipo tenga un desperfecto, se recomienda que el operador B cuente con un equipo de iguales características para reemplazar el equipo dañado y con esto garantizar la disponibilidad del servicio.

Por otro lado, el equipo tiene la mayor cantidad de partes electrónicas estándar y de fácil adquisición en el mercado local, es por eso que las empresas proveedoras del servicio garantizan una alta tasa de reparación (superior al 95 %).

Nuevamente ambos equipos cumplen con este requerimiento.

#### 4.1.4. Casos de Éxito.

La operadora B tiene equipos de similares características de los proveedores elegidos en otros sitios y todas las soluciones funcionan de acuerdo a las planificaciones realizadas. Ambos proveedores tiene productos que garantizan la solución, se le da un puntaje idéntico y elevando a ambos proveedores.

#### 4.1.5. Costos.

Este es un punto clave a la hora de elegir dos equipos de similares características y si bien bajo parámetros similares de cumplimientos de especificaciones técnicas, soporte local y reparabilidad, el costo de los equipos tal vez pueda volcar la solución al equipo con menos características deseables pero que garantice el funcionamiento de la solución a instalar.

Para el caso de los equipos analizados, el equipo Comba tiene un precio de 52500 \$ Argentinos (IVA incluido), mientras el equipo Fiplex tiene un costo de 48100 \$ Argentinos (IVA incluido).

Es por eso que en este punto, el equipo Fiplex supera al Comba.

#### 4.2. Elección del equipo CEL FI.

En cuanto a la elección del equipo Cel Fi a instalar se compararon dos equipos y la tabla N° 19 nos muestra las cualidades que se tiene en cuenta para la elección de este dispositivo con el porcentaje de importancia que se le da a cada ítem.

|                           |            | PROVEEDOR I | PROVEEDOR II |
|---------------------------|------------|-------------|--------------|
| PARAMETROS                | PESO %     | ATN         | NEXTIVITY    |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | 45         | 24          | 45           |
| SOPORTE LOCAL y REPUESTOS | 10         | 0           | 5            |
| CASOS DE ÉXITO            | 10         | 0           | 10           |
| COSTOS                    | 30         | 30          | 20           |
| <b>TOTALES.</b>           | <b>100</b> | <b>54</b>   | <b>80</b>    |

**Tabla 20:** Características necesarias equipo Cel Fi.

Los equipos a comparar son el Cel Fi “Pro” de Nextivity y por otro lado el Cel Fi “Singal Expert” de ATN, como se puede observar en la tabla N° 17 el equipo que más requerimientos cumple es el Cel Fi “Pro” y es el que se utilizó en la solución del cliente BAM SA.

#### 4.2.1. Especificaciones técnicas.

La tabla N° 21 muestra cuales fueron las características técnicas que valoraron para la cuantificación técnica del equipo Cel Fi que se instaló.

|                         |                  | PROVEEDOR I | PROVEEDOR II |
|-------------------------|------------------|-------------|--------------|
| CARACTERISTICAS         | ESPECIFICACIONES | ATN         | NEXTIVITY    |
| TECNOLOGÍAS DE USO      | GSM/UMTS         | SI          | SI           |
| VIGILANCIA REMOTA       | ALARMAS          | NO          | SI           |
| GANANCIA AUTO AJUSTABLE | AGC              | SI          | SI           |
| CONEXIONADO PRACTICO    | -                | NO          | SI           |
| INACTIVIDAD AUTOMATICA  | -                | SI          | SI           |

**Tabla 21:** Características técnicas solicitadas en equipo BDA.

En este caso, los equipos Cel Fi son pico repetidor con control de ganancia ajustable y de poca potencia, por lo tanto los atributos que se resalta tienen que ver con las facilidades de instalación, ya que en el sitio donde se instalara no se puede canalizar ningún tipo de cable por pedido expreso del cliente. Además también se tiene en cuenta el ahorro de energía del equipo al tener la característica de permanecer en reposo mientras el mismo no se utiliza.

En este caso el equipo de Nextivity cumple con todos los atributos pedidos. Y además la interconexión entre el modulo que toma la señal y el modulo que la reparte es por Wifi.

#### 4.2.2. Soporte Local y Repuestos.

El equipo de ATN es distribuido por un importador de productos electrónicos en Argentina y el mismo cuenta con un soporte local muy básico, además de que no cuentan con soportes de reparación pos garantía, si bien los equipos pueden ser reparados por otras empresas reparadoras locales, la reparación de los mismos es realizada por empresas terceras.

Por otro lado Nextivity tiene una empresa proveedora de servicios de telecomunicaciones que es representante oficial de esta firma en Argentina, si bien tampoco cuenta con un servicio de reparación y repuestos, si cuenta con un asesoramiento técnico de primer nivel.

Para este punto, ninguna de las dos empresas cumple con los requerimientos máximos esperados pero Nextivity cuenta con una ventaja respecto de ATN.

#### **4.2.3. Casos de Éxito.**

En este punto Nextivity cuenta con la ventaja mayor ya que la operadora B cuenta con otras soluciones ya instaladas funcionando con un excelente performance en otros sitios. Además cuenta con otros productos Cel Fi ya instalados y funcionando.

En cambio ATN, es un producto nuevo que si bien la operadora B pretende probar, el mismo se encuentra en una etapa de homologación por parte de la operadora.

#### **4.2.4. Costos.**

En este punto el equipo ATN supera al equipo de Nextivity, ya que es casi un 50 % más barato, pero como se detalló posee menos prestaciones.

En este caso el equipo Cel Fi “Singal Expert” de ATN tiene un costo final de mercado de 6500 \$ Argentinos (IVA incluido), mientras que el equipo Cel Fi “Pro” de Nextivity cuesta 11500 \$ Argentinos (IVA incluido).

En este punto el equipo ATN aventaja al equipo de Nextivity.

#### **4.3. Costos de la instalación.**

Los materiales y los costos unitarios y totales están expresados en la tabla N° 22, la cual se muestra además la descripción de los costos y la familia a que pertenece cada costo.

Básicamente se puede apreciar 3 tipos de costos:

- ✓ El primero es de servicios y correspondiente a la instalación y relevamiento de la solución instalada.
- ✓ El segundo equipos instalados según los parámetros de elección detallados en puntos anteriores.
- ✓ El tercero a materiales consumibles tales como cables, grampas, etc.

| CÓDIGO               | DESCRIPCIÓN  | FAMILIA       | U | P           |      | PXQ                |
|----------------------|--|---------------|---|-------------|------|--------------------|
|                      |  |               |   | PRECIO UN.  | CANT |                    |
| CB-OYI-040V13B0-2    | YAGI 13 ELEMENTOS,13dBi, 850MHz ,N FEMALE, OUTDOOR                                 | ANTENA        | U | \$ 300,0    | 1    | \$ 300,0           |
| CB-IWH-070V10N0-2    | DIR. PANEL 70°, 10DBI, 800-960 & 1710-2700MHZ                                      | ANTENA        | U | \$ 250,0    | 5    | \$ 1.250,0         |
| CB-RD1923-02H08P40K6 | CB-RD1923-02H08P40K60A92M08,II2 // BDA GSM 1900MHZ, 40DBM, 95DB, 8 CH C/ CONT. AIS | BDA           | U | \$ 26.570,0 | 1    | \$ 26.570,0        |
| CB-CL-CF12CFR        | 1/2" COAXIAL CABLE, FOAM RIGIDO, FIRE RETARDANT                                    | CABLE         | M | \$ 10,2     | 115  | \$ 1.173,0         |
| STX-CL/E-3X2.5       | CABLE SINTENAX 3X2,5MM   | CABLES        | M | \$ 32,0     | 5    | \$ 160,0           |
| ROK-CP/D4M-IP40      | CAJA PLASTICA CON RIEL DIN DE 4 MODULOS CON PUERTA, IP40                           | CAJA          | U | \$ 120,0    | 1    | \$ 120,0           |
|                      | CEL-FI PRIME   | CEL FI        | U | \$ 8.500,0  | 1    | \$ 8.500,0         |
| TSA-CVUL2M           | CINTA VULCANIZANTE, 2M, 19MMX0,76MM  | CINTA         | U | \$ 65,0     | 1    | \$ 65,0            |
| TSA-CVUL4M           | CINTA VULCANIZANTE, 4M, 19MMX0,76MM  | CINTA         | U | \$ 120,0    | 1    | \$ 120,0           |
| CB-CN-NMR-CF12       | CONNECTOR N MALE, FOR 1/2" FOAM RIGIDO CABLE, RIGHT ANGLE                          | CONECTOR      | U | \$ 25,0     | 8    | \$ 200,0           |
| CB-CN-NM-CF12        | CONNECTOR N MALE, FOR 1/2" FOAM RIGIDO CABLE                                       | CONECTOR      | U | \$ 25,0     | 10   | \$ 250,0           |
| FSCH-GRPA1/2O5/8     | GRAMPA 5/8" OMEGA P/ CABLE 1/2" RIGIDO   | GRAMPA        | U | \$ 9,0      | 15   | \$ 135,0           |
| SCH-ITM2X10          | INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2X10 A, P60   | INTERRUPTORES | U | \$ 150,0    | 1    | \$ 150,0           |
| GEN-MET-PM 1/2P1A    | PASAMURO METALICO PARA 1/2 CON 1 AUGERO -15 X10 CM                                 | PASA MUROS    | U | \$ 130,0    | 1    | \$ 130,0           |
| PCO-PTO/M-300MM      | PRECINTO METALICO C/VAINA 300X05MM   | PRECINTO      | U | \$ 25,0     | 5    | \$ 125,0           |
| HEL-PTO/P-ALT5       | PRECINTOS ALT5 300x5.0 Neg.  | PRECINTO      | U | \$ 1,2      | 300  | \$ 360,0           |
| CT-PCL1P             | PRENSACABLE PLASTICO 1'  | PRENSACABLE   | U | \$ 56,0     | 1    | \$ 56,0            |
| CT-PCL3/4P           | PRENSACABLE 3/4" PVC, P/ CABLE DE LMR400 /CAJA EXTERIOR MONTAJE                    | PRENSACABLE   | U | \$ 45,0     | 2    | \$ 90,0            |
|                      | COSTO DE INSTALACIÓN Y MEDICIONES  | SERVICIO      | U | \$ 3.000,0  | 1    | \$ 3.000,0         |
| SXA-CÑR1.5X3MG       | CAÑO RECTO DE 1.5' X3M, GALVANIZADO  | SOPORTE       | U | \$ 200,0    | 1    | \$ 200,0           |
| CS-SPLATA-WALL7      | SOPORTE ANTENA PLASTICO TILT AZIMUTH, WALL 7                                       | SOPORTE       | U | \$ 200,0    | 5    | \$ 1.000,0         |
| CB-PS-R3-ON300C      | 3 WAY SPLITTER, 698-2700MHZ, N FEMALE, 300W  | SPLITTER      | U | \$ 345,0    | 1    | \$ 345,0           |
| CB-PS-R2-ON300C      | 2 WAY SPLITTER, 698-2700MHZ, N FEMALE, 300W  | SPLITTER      | U | \$ 320,0    | 2    | \$ 640,0           |
| GEN-TOMA/DIN-1MOD    | TOMA AUXILIAR MONTAGE DIN DE 1 MODULO  | TOMAS         | U | \$ 58,0     | 1    | \$ 58,0            |
|                      |  |               |   |             |      | <b>\$ 44.997,0</b> |

**Tabla 22:** PxQ de la solución indoor BAM SA. Proveedor Operadora B.

Por lo tanto el costo de inversión que la operadora B invirtió es de 44997 \$ Argentinos, en el siguiente punto, realizaremos un pequeño estudio económico para analizar en cuanto tiempo se recupera esta inversión.

#### 4.4. Análisis de ingresos de capital.

Debido a que la mejora del servicio de voz fue notable, la empresa BAM SA, migro la gran mayoría de sus líneas a la operadora B, los planes elegidos por sus referentes técnicos comerciales se pueden observar en la tabla N° 23.

La política utilizada por BAM SA, es darles líneas Básicas a sus empleados rasos, Premium a Analistas y supervisores y Oro a jefes y gerentes.

| OPERADORA | PLAN           | MINUTOS A OTRAS OPERADORAS | MINUTOS DENTRO DE OPERADORA | SMS   | LDN | LDI | NAVEGACIÓN | PRECIO MENSUAL (IVA INCLUIDO) |
|-----------|----------------|----------------------------|-----------------------------|-------|-----|-----|------------|-------------------------------|
| B         | <b>BASICO</b>  | 160                        | LIBRE                       | LIBRE | 60  | 0   | 4 GB       | \$ 330,00                     |
| B         | <b>PREMIUM</b> | 240                        | LIBRE                       | LIBRE | 160 | 40  | 4 GB       | \$ 410,00                     |
| B         | <b>ORO</b>     | 800                        | LIBRE                       | LIBRE | 500 | 200 | 10 GB      | \$ 490,00                     |

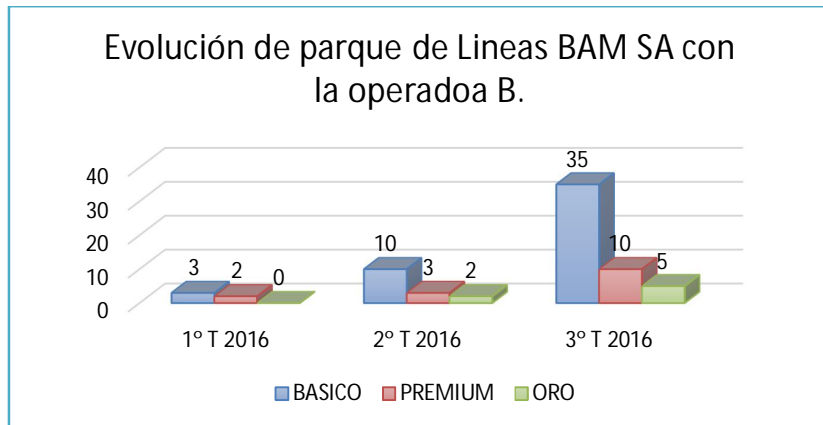
**Tabla 23:** Planes de servicio de voz y datos. Operadora B.

En la tabla 24 se puede observar la cantidad de líneas que la operadora B contaba en BAM SA por trimestre y los ingresos que estas representan.

| OPERADORA | PLAN           | PRECIO MENSUAL (IVA INCLUIDO) | 1° T 2016 |                    | 2° T 2016 |                    | 3° T 2016 |                     |
|-----------|----------------|-------------------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|---------------------|
|           |                |                               | CANTIDAD  | PRECIO             | CANTIDAD  | PRECIO             | CANTIDAD  | PRECIO              |
| B         | <b>BASICO</b>  | \$ 330,00                     | 3         | \$ 990,00          | 10        | \$ 3.300,00        | 35        | \$ 11.550,00        |
| B         | <b>PREMIUM</b> | \$ 410,00                     | 2         | \$ 820,00          | 3         | \$ 1.230,00        | 10        | \$ 4.100,00         |
| B         | <b>ORO</b>     | \$ 490,00                     | 0         | \$ 0,00            | 2         | \$ 980,00          | 5         | \$ 2.450,00         |
|           |                |                               |           | <b>\$ 1.810,00</b> |           | <b>\$ 5.510,00</b> |           | <b>\$ 18.100,00</b> |

**Tabla 24:** Cantidad de Líneas de BAM SA con la operadora B. Evolución por trimestre.

Se puede observar en el gráfico N° 4 el crecimiento de la participación de líneas en BAM SA, luego de la instalación de la solución indoor, esta solución permitió a la operadora B quedarse con la totalidad de líneas de BAM SA, y ya se prevé avanzar con la sucursal que la empresa tiene en la provincia de Mendoza.



**GRAFICO 4:** Evolución del parque de líneas de BAM SA con la operadora B por trimestre.

#### 4.5. Calculo de VAN y TIR.

Para analizar si el proyecto tecnológico es rentable en el tiempo se procederá a realizar el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El VAN se basa en la idea de que el valor del dinero no es el mismo a lo largo del tiempo, aun con una inflación mínima, la moneda se deprecia. El VAN nos permite conocer el valor del dinero al día de hoy de un proyecto que se extiende por muchos periodos. Ese índice combina el valor neto mensual (resultado del flujo de ingresos positivos y negativos de cada periodo) con una tasa de descuento (puede considerarse un valor cercano a la inflación del país donde se invertirá).

Si el cálculo del VAN es mayor a cero, se puede concluir que el proyecto es rentable, si es menor a cero, el proyecto por el contrario no es rentable. Si es igual a cero, depende de la tasa que se ha tomado como referencia.

Cuando calculamos el TIR de un proyecto el mismo nos indica cual es la tasa de descuento que hace al VAN calculado cero, se expresa como porcentaje y puede entenderse como la tasa de interés máxima a la que es posible endeudarse para financiar un proyecto sin generar pérdidas.

En cuanto al proyecto realizado en la empresa BAM SA, se realizó una inversión inicial de 44997\$ Argentinos y se quiere analizar el proyecto en un periodo de 36 meses. Siendo optimistas se prevé una tasa de interna de retorno del 15%.

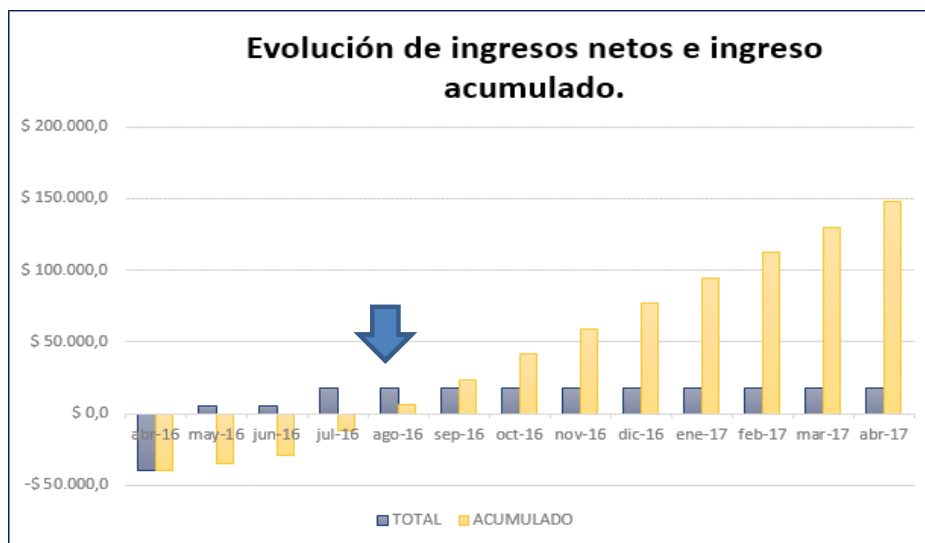


|                  |        | LINEAS PLAN | LINEAS PLAN | LINEAS PLAN | TOTAL  | TOTAL ABONO | CAPEX      | OPEX       | TOTAL        | ACUMULADO    |
|------------------|--------|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|------------|------------|--------------|--------------|
|                  |        | BASICO      | PREMIUM     | ORO         | LINEAS | X SERVICIO  |            |            |              |              |
|                  |        | UND.        | UND.        | UND.        | UND.   | \$          | \$         | \$         | \$           | \$           |
| 1° TRIM.<br>2016 | ene-16 | 0           | 0           | 0           | 0      | \$ 0,0      | \$ 0       | \$ 0       | \$ 0,0       | -            |
|                  | feb-16 | 3           | 2           | 0           | 5      | \$ 1.810,0  | \$ 0       | \$ 0       | \$ 1.810,0   | -            |
|                  | mar-16 | 3           | 2           | 0           | 5      | \$ 1.810,0  | \$ 0       | \$ 0       | \$ 1.810,0   | -            |
| 2° TRIM.<br>2016 | abr-16 | 10          | 3           | 2           | 15     | \$ 5.510,0  | -\$ 44.997 | -\$ 350    | -\$ 39.837,0 | -\$ 39.837,0 |
|                  | may-16 | 10          | 3           | 2           | 15     | \$ 5.510,0  | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 5.160,0   | -\$ 34.677,0 |
|                  | jun-16 | 10          | 3           | 2           | 15     | \$ 5.510,0  | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 5.160,0   | -\$ 29.517,0 |
| 3° TRIM.<br>2016 | jul-16 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | -\$ 11.767,0 |
|                  | ago-16 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 5.983,0   |
|                  | sep-16 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 23.733,0  |
| 4° TRIM.<br>2016 | oct-16 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 41.483,0  |
|                  | nov-16 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 59.233,0  |
|                  | dic-16 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 76.983,0  |
| 1° TRIM.<br>2017 | ene-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 94.733,0  |
|                  | feb-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 112.483,0 |
|                  | mar-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 130.233,0 |
| 2° TRIM.<br>2017 | abr-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 147.983,0 |
|                  | may-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 165.733,0 |
|                  | jun-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 183.483,0 |
| 3° TRIM.<br>2017 | jul-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 201.233,0 |
|                  | ago-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 218.983,0 |
|                  | sep-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 236.733,0 |
| 4° TRIM.<br>2017 | oct-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 254.483,0 |
|                  | nov-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 272.233,0 |
|                  | dic-17 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 289.983,0 |
| 1° TRIM.<br>2018 | ene-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 307.733,0 |
|                  | feb-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 325.483,0 |
|                  | mar-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 343.233,0 |
| 2° TRIM.<br>2018 | abr-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 360.983,0 |
|                  | may-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 378.733,0 |
|                  | jun-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 396.483,0 |
| 3° TRIM.<br>2018 | jul-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 414.233,0 |
|                  | ago-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 431.983,0 |
|                  | sep-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 449.733,0 |
| 4° TRIM.<br>2018 | oct-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 467.483,0 |
|                  | nov-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 485.233,0 |
|                  | dic-18 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 502.983,0 |
| 1° TRIM.<br>2019 | ene-19 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 520.733,0 |
|                  | feb-19 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 538.483,0 |
|                  | mar-19 | 35          | 10          | 5           | 50     | \$ 18.100,0 | \$ 0       | -\$ 350    | \$ 17.750,0  | \$ 556.233,0 |
|                  |        |             |             |             |        |             |            | <b>VAN</b> | \$ 33.602,0  |              |
|                  |        |             |             |             |        |             |            | <b>TIR</b> | 31,3%        |              |

**Tabla 25:** Ingresos por abono de servicio tentativa de BAM SA.

Según la tabla N° 24 el VAN de la empresa es positivo con un valor de 33602 \$, esto nos indica que el proyecto es rentable y el TIR del 31 % lo que nos deja un margen por alguna situación económica desfavorable.

Por último el gráfico N° 5 nos muestra que en el quinto mes después de instalarse la solución indoor en BAM SA se comienza a tener saldo a favor y se amortiza la solución instalada.



**GRAFICO 5:** Amortización de la solución BAM SA.

#### 4.6. Conclusiones finales del capítulo.

En este capítulo se expusieron los criterios utilizados en la elección de los equipos que finalmente se instalaron en la empresa BAM SA, los mismos surgieron de un relevamiento de cualidades técnicas, de soporte, mantenimiento y costos que se compararon.

Luego el capítulo continuo analizando los costos de la implementación de la solución, tanto materiales, equipos y mano de obra necesaria. Para realizar este análisis se construyó una matriz de precios por unidades (PxQ) y con esto obtuvimos el costo total de la instalación.

Además también se analizó cual fue el incremento del ingreso que la operadora B recibió luego de haber captado al resto del parque de líneas de la empresa BAM SA. Se presentaron los planes de servicio ofrecidos por la operadora B (Básico, Premium y Oro) y sus costos.

Una vez obtenido los ingresos por periodo (mensual) y costo del desembolso de efectivo inicial para el proyecto y los costos de mantenimientos mensuales, pudimos armar una matriz de proyección de ingresos netos. Esta matriz nos permitió calcular el VAN y el TIR del proyecto el cual resulto rentable.

El siguiente capítulo expondrá las conclusiones finales de la práctica final de ingeniería, estas conclusiones resaltarán de este capítulo la rentabilidad económica del proyecto planteado en BAM SA.

## 5. Conclusiones Finales.

En general podemos concluir que existen soluciones técnicas aplicables para mejorar la calidad de los servicios de voz y datos que una operadora de telecomunicaciones brinda a sus clientes en zonas indoor donde la calidad no es óptima.

La cobertura macro de las operadoras de telecomunicaciones no siempre contempla todos los recintos, generalmente están pensados para cubrir zonas en un radio determinado, pero existen inconvenientes a la hora de irradiar señal en sitios internos donde su infraestructura resulta una barrera dificultosa al paso de la señal que irradian los nodos externos.

Según lo visto en el primer capítulo se analizó la tendencia de consumo de datos, observado que esta tendencia sigue creciendo de forma exponencial. No solo los usuarios finales tienen la necesidad de estar conectados si no que ya tenemos dispositivos electrónicos conectados a la red y precisan contar con una conexión disponible y con capacidad de transferencia de datos.

Los dispositivos M2M, son una realidad en crecimiento, desde Smart TV, consolas de video juegos, aires acondicionados, alarmas, sistemas de monitoreo digital, etc.

En cuanto a los usuarios finales, la comunicación por aplicaciones sociales (Facebook, Whatsapp, Twiter, Linkedid, etc), la interacción laboral por medio de aplicaciones de email, los consumos de entretenimiento por aplicaciones de video streaming (YouTube, Netflix, etc.) y más, implican que lo usuarios quieren estar conectados todo el tiempo y en todo lugar. Si bien el servicio de datos se convirtió en el centro de las empresas de telecomunicaciones, los servicios de voz, conectando a los usuarios a la red de telefonía pública también continúan en auge.

Por otro lado los dispositivos que más utilizan los usuarios finales para conectarse a internet son los Smartphones por una cuestión de costos, practicidad y una dual capacidades inalámbricas de conexión (WiFi y redes móviles) y además estos dispositivos cuentan con una SIM que le proporciona una identidad en la red de telefonía móvil (IMSI).

Todo lo expresado incentiva a las operadoras de telecomunicaciones a adaptarse en capacidad y despliegue, para poder llegar a todos los lugares donde tenga clientes con la capacidad que el cliente necesita. En la realidad esto no ocurre, debido a que existen zonas que por su complejidad edilicia, ubicación geográfica, disponibilidad de recursos, etc.

Las operadoras están avanzando en el concepto de atomizar sus recursos de acceso, salir de un despliegue con macro sitios, los cuales cubrían y daban servicio a un radio de kilómetros por elementos más pequeños, ampliando su capacidad y cobertura.

El concepto de redes Heterogéneas, HetNet, es un concepto que está siendo utilizado cada día más, por los operadores de telecomunicaciones. Una red heterogénea está formada por múltiples tecnologías de acceso de radio, arquitecturas, soluciones de transmisión y estaciones base de diversas potencias, con el fin de expandir la capacidad y cobertura de las redes móviles.

Las operadoras de telecomunicaciones deben adaptarse con la mejor tecnología disponible a los sitios donde se encuentran sus clientes. Esta idea fue el disparador para investigar qué soluciones tecnológicas tiene un operador móvil para brindar mejor servicio en lugares donde existen problemas de calidad de servicios prestados.

Se estudiaron en el capítulo 2 las tecnologías móviles existentes, orientando el estudio a su red de acceso, se detalló la evolución de las tecnologías utilizadas y resalamos de este capítulo el comienzo de la Conmutación de paquetes total (LTE Advanced). Luego analizamos las pérdidas de energía por propagación de una onda electromagnética para entender que ocurre cuando la señal pierde energía, fenómeno que ocurre en los recintos indoor con baja calidad de servicios de voz y/o datos móviles.

Se presentaron dos tipos de soluciones tecnológicas para afrontar el problema de cobertura de red en recintos internos, los mismos fueron soluciones repetidoras de señal (BDA y Cel Fi) y soluciones de small cell que son nodos de pequeña capacidad y potencia con grandes facilidades para mitigar el inconveniente de cobertura planteado.

Analizamos los beneficios y virtudes de cada tipo de solución llegando a conclusión de que las soluciones del tipo repetición (BDA o Cel Fi), son soluciones que son muy utilizadas y brindan resultados positivos. El problema radica básicamente en que son soluciones dependientes de alguna antena donora de la que absorbe los recursos. Esta dependencia también la hace vulnerable ante caídas de los nodos cercanos de donde toman la señal de repetición. Si bien los Cel Fi son elementos con mayores prestaciones de servicio (ahorro de energía, conectividad e instalación más práctica y elección de nodos x operadora, autoconfiguración de potencia de salida, etc), los mismos no le suman recursos a la red del operador donde se configuran para trabajar, estos elementos utilizan los recursos existentes y en ocasiones pueden sobrecargar a los nodos de donde toman señal.

Respecto a las smallcell analizamos que es una tecnología ya implementada en muchas operadoras en el mundo pero todavía no es una tecnología madura y con gran despliegue. Básicamente los inconvenientes radican en la definición comercial de los costos de la interconexión de este micro nodos con la red del operador donde trabajarán. Y por otro lado en la integración de los nodos a la red de acceso del operador. En argentina el reciente decreto del Poder Ejecutivo Nacional 768 del 2016, impulsa a los prestadores de servicios de voz y datos móviles a la instalación de estos dispositivos, utilizando como sitios de instalación los edificios públicos (previo acuerdo).

Estamos en presencia de un punto de transición entre tecnologías de repetición y tecnologías de small cell, donde se busca ampliar la capacidad y la cobertura de las redes de las operadoras nacionales. El marco legal para el despliegue masivo de small cell ya está vigente y las operadoras de telecomunicaciones tienen el camino llano para realizar los despliegues de estos nodos pequeños.

En cuanto al proyecto puntual de mejora de cobertura de la empresa BAM SA, en su casa matriz en Rosario, Argentina, se pudo instalar en forma veloz un sistema repetido de señal que utiliza un equipo BDA y un equipo Cell Fi. Analizamos y relevamos las dimensiones del sitio, la infraestructura edilicia (la estructura del techo), realizamos mediciones orientadas a la señal de la operadora B y al servicio de telefonía móvil. Estas mediciones se realizaron antes y después de la instalación de la solución verificando una mejora sustancial en todos los parámetros medidos.

Luego analizamos los costos de instalación y mantenimiento de la solución instalada y por otro lado los ingresos de los servicios que la empresa BAM SA contrato a la operadora B. Una vez calculados el VAN y TIR del proyecto verificamos que el mismo era rentable.

Por lo tanto podemos concluir que el proyecto presentado en esta práctica final de ingeniería es técnicamente factible y económicamente rentable.

## Referencias.

- GSMA (Association Global System for Mobile).  
<http://www.gsma.com>
- 3GPP. (3rd Generation Partnership Project)  
<http://www.3gpp.org>
- Long Term Evolution (LTE).  
<http://catedraisdefe.etsit.upm.es/wp-content/uploads/2015/04/Manuel-Alvarez-Campana-T3.pdf>
- 5G Americas.  
<http://www.4gamericas.org/>
- Capacitación interna Movistar. (Curso Introducción Redes móviles).
- Capacitación interna Movistar (Curso Redes GSM y topologías).
- Capacitación interna Movistar. (Curso introducción UMTS).
- Capacitación interna Movistar. (Curso Introducción a LTE).
- Biblioteca virtual Telecom Sharing.  
<http://www.telecomsharing.com/es/>
- Ericsson Company.  
<https://www.ericsson.com>
- Introducción al procesamiento y transmisión de datos. Ing Francisco Tropeano. Editorial Alsina.
- Will my phone Work.  
<http://willmyphonework.net/>
- Small Cell Forum.  
<http://www.smallcellforum.org>
- CCN Forum. Propagation of Radio.  
<http://ccm.net/contents/832-propagation-of-radio-waves-802-11>
- Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición. Wayne Tomasi. Editorial Person.
- ENACOM. Ente nacional de Comunicaciones.  
<http://www.enacom.gob.ar>

- Ministerio de Comunicaciones de la República Argentina.  
<http://www.argentina.gob.ar/comunicaciones>
- GOBIERNOS LOCALES.  
<http://gobiernoslocales.com.ar>
- CEL FI.  
<http://www.cel-fi.com/>

## GLOSARIO TÉCNICO.

| TERMINO | DESCRIPCIÓN  |
|---------|--|
| 3GPP    | 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT                             |
| ADSL    | ASYMMETRIC DIGITAL SUBSCRIBER LINE                             |
| AMBA    | ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES                             |
| AMPS    | ADVANCE MOBILE PHONE SERVICE                                   |
| ATM     | ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE                                     |
| BDA     | BI-DIRECTIONAL AMPLIFIERS                                      |
| CDMA    | CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS                                  |
| DAS     | SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDAS                                |
| dB      | DECIBELIOS.  |
| DCHSDPA | 'DUAL CELULAR (DC-)HSDPA                                       |
| EDGE    | ENHANCED DATA RATES FOR GSM EVOLUTION                          |
| eICIC   | ENHANCED INTER-CELL INTERFERENCE COORDINATION                  |
| eMBMS   | LTE EVOLVED MULTIMEDIA BROADCAST MULTICAST SERVICES            |
| EPC     | EVOLVED PACKET CORE  |
| EPS     | EVOLVED PACKET SYSTEM  |
| FACH    | FOWARD ACCESS CHANNEL  |
| FDD     | FREQUENCY-DIVISION DUPLEXING                                   |
| FTTH    | FIBER TO THE HOME  |
| GMSK    | GAUSSIAN MINIMUM SHIFT KEYING                                  |
| GPRS    | GENERAL PACKET RADIO SERVICE                                   |
| GSM     | GRUPE SPECIAL MOBILE / GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS |
| HetNet  | HETEROGENEOUS NETWORK  |
| HSDPA   | (HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS                             |
| HSPA    | HIGH-SPEED PACKET ACCESS                                       |
| HSUPA   | HIGH-SPEED UPLINK PACKET ACCESS                                |
| IMS     | INTERNET MEDIA SERVER.   |
| IP      | INTERNET PORTOCOL.   |
| IPv4    | INTERNET PORTOCOL VERSION 4                                    |
| ISDN    | RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS                            |
| KPI     | KEY PERFORMANCE INDICATORS                                     |
| LA      | LOCATION AREA  |
| LDI     | LARGA DISTANCIA INTERNACIONAL.                                 |
| LDN     | LARGA DISTANCIA NACIONAL.                                      |
| LTE     | LONG TERM EVOLUTION  |
| M2M     | MACHINE TO MACHINE.  |
| MBMS    | MULTIMEDIA BROADCAST MULTICAST SERVICES                        |
| MBSFN   | MULTICAST-BROADCAST SINGLE-FREQUENCY NETWORK                   |



|         |   |
|---------|---|
| MIMO    | MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT                |
| MiPynes | PYMES PEQUEÑAS.                               |
| MMS     | MULTIMEDIA MESSAGING SERVICE                  |
| MSK     | MINIMUM SHIFT KEYING                          |
| NMT     | NORDIC MOBILE TELEPHONE                       |
| OFDMA   | ORTHOGONAL FREQUENCY-DIVISION MULTIPLE ACCESS |
| PBX     | PRIVATE BRANCH EXCHANGE                       |
| PLMN    | PUBLIC LAND MOBILE NETWORK                    |
| QAM     | QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION               |
| RSCP    | RECEIVED SIGNAL CODE POWER                    |
| SECOM   | SECRETARIA DE COMUNICACIONES.                 |
| SMS     | SHORT MESSAGE SERVICE                         |
| TACS    | TOTAL ACCESS COMMUNICATIONS                   |
| TDD     | IME-DIVISION DUPLEXING                        |
| TDMA    | TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS                 |
| UIT     | UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES     |
| UMTS    | UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM    |
| VOIP    | VOICE OVER IP                                 |
| VOLTE   | VOICE OVER LTE                                |
| WAP     | WIRELESS APPLICATION PROTOCOL                 |
| WLAN    | WIRELESS LOCAL AREA NETWORK                   |